

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

**QUALIDADE DE SERVIÇO EM APLICAÇÕES
MULTIMÍDIA SOBRE REDES IP / ATM**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa
Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau
de Mestre em Ciência da Computação.

LEONARDO DOS SANTOS PEREIRA

Florianópolis, fevereiro de 2000.

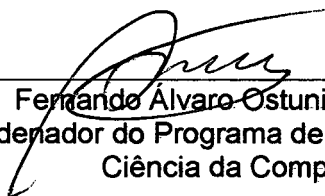
QUALIDADE DE SERVIÇO EM APLICAÇÕES MULTIMÍDIA SOBRE REDES IP / ATM

LEONARDO DOS SANTOS PEREIRA

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração em Sistemas de Computação, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina.

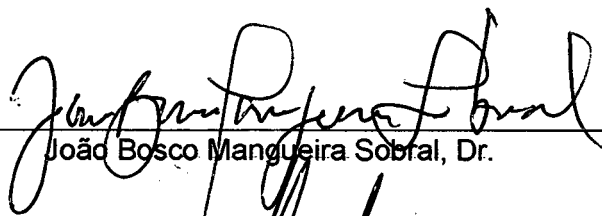


Roberto Willrich, Dr.
Orientador



Fernando Álvaro Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciência da Computação

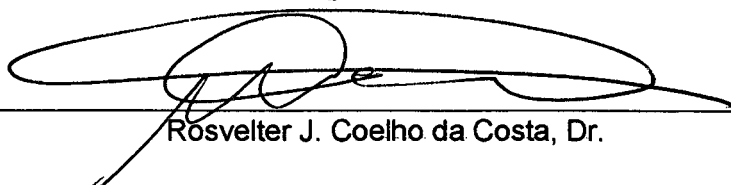
Banca Examinadora:



João Bosco Manguiera Sobral, Dr.



Vitório Bruno Mazzola, Dr.



Rosvelter J. Coelho da Costa, Dr.

**Dedico este trabalho ao meu orientador, a professores e
amigos e, em especial, aos meus pais.**

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos professores integrantes da banca examinadora pela apreciação do presente trabalho e pelas sugestões durante o processo de pesquisa.

Aos professores que, ao longo do curso, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação e aos amigos que, durante esta caminhada, fizeram-se presentes participando dos acontecimentos, enfim, vivendo o mestrado.

Aos meus pais, Jaures Pereira e Maria Dolores Fidelis dos Santos por todo apoio em todas as horas difíceis.

Em especial, agradeço ao meu orientador, Dr. Roberto Willrich, pelo empenho e dedicação a este trabalho e às suas atividades acadêmicas.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

QUALIDADE DE SERVIÇO EM APLICAÇÕES MULTIMÍDIA SOBRE REDES IP/ATM

Leonardo dos Santos Pereira

Fevereiro/2000

Orientador: Roberto Willrich, Dr.

Área de Concentração: Sistemas de Computação.

Palavras-chave: Qualidade de serviço, IP sobre ATM, Multimídia.

Número de Páginas: 100.

Qualidade de Serviço (QoS) é uma especificação qualitativa e quantitativa dos requisitos de uma aplicação que um sistema multimídia deve satisfazer a fim de obter a qualidade desejada. QoS é um requisito fundamental para diversas aplicações, envolve atividades como especificação, mapeamento, negociação e gerenciamento de recursos. Este trabalho analisa os fatores relevantes para o suporte a QoS para aplicações multimídia distribuídas, além de alguns protocolos e sistemas disponíveis atualmente que provêm QoS.

As redes ATM fornecem a QoS, mas quando são utilizadas aplicações IP sobre ATM esta característica é perdida. O objetivo da dissertação é estudar o problema de provimento de QoS em aplicações em redes locais IP sobre ATM e propor uma extensão no CLIP a fim de prover QoS às aplicações IP.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Cience of Computation.

QUALITY OF SERVICE IN MULTIMEDIA APPLICATIONS IN NETS IP ON ATM

Leonardo dos Santos Pereira

February/2000

Advisor: Roberto Willrich, Dr.

Area of Concentration: Systems of Computation.

Keywords: Quality of Service, IP over ATM, Multimedia.

Number of Pages: 100.

Quality of Service (QoS) is a qualitative and quantitative specification of the requirements of an application that a system multimedia should satisfy in order to obtaining the wanted quality [Lu, 96]. QoS is a fundamental requirement for several applications, involves activities such as especification, mapping, negotiation and management of resources. This paper analyzes the relevant to QoS support for distributed multimedia applications, as well as some protocols and sustems currently available, wich provide QoS.

The ATM nets supplies QoS, but when it is used IP on ATM applications this characteristic is lost. The objective of the dissertation is to study the problem of QoS managment in applications in local nets IP on ATM and to propose an extension in kindred CLIP of providing QoS the applications IP.

SUMÁRIO

Lista de figuras	x
Lista de siglas	xi
1. Introdução	1
2. Multimídia	3
2.1. Definição de sistemas multimídia	3
2.2. Características das fontes de tráfego multimídia	3
2.2.1. Variação de taxa de bits com o tempo	4
2.2.2. Dependência temporal	4
2.2.3. Continuidade temporal	5
2.3. Requisitos para transmissão de áudio e vídeo	5
2.3.1. Requisitos de vazão	5
2.3.2. Requisitos de atraso e variação de atraso	6
2.3.3. Requisitos de confiabilidade (controle de erro)	7
2.3.4. Capacidade de multicasting	7
2.3.5. Garantias de desempenho	7
2.4. Conclusão	8
3. Qualidade de serviço	9
3.1. Estrutura geral da qualidade de serviço	10
3.1.1. Especificação da qualidade de serviço	10
3.1.1.1. Camada do usuário	11
3.1.1.2. Camada da aplicação	11
3.1.1.3. Camada do sistema	12
3.1.2. Negociação / renegociação da qualidade de serviço	13
3.1.3. Garantias de qualidade de serviço	14
3.2. Protocolo de reserva de recurso (RSVP)	15
3.3. Conclusão	16
4. Internet	17
4.1. Arquitetura Internet	17
4.1.1. Nível físico	17
4.1.2. Nível de rede	18
4.1.3. Nível de transporte	18
4.1.4. Nível de aplicação	18
4.2. Protocolo IP	19
4.2.1. IPv4 (Internet Protocol version 4)	19
4.2.1.1. Formato do pacote IPv4	21
4.2.2. IPv6 (Internet Protocol version 6)	22
4.2.2.1. Datagrama	24
4.2.2.2. Qualidade de serviço	26
4.3. Qualidade de serviço (QoS) na Internet	27
4.3.1. Serviços integrados	28
4.3.2. Serviços diferenciados	30
4.3.3. MPLS (Multi Protocol Label Switching)	33
4.4. Conclusão	36
5. ATM (Asynchronous Transfer Mode)	37
5.1. Modo de transferência síncrono versus assíncrono	37
5.2. Células ATM	38
5.3. Comutadores	39
5.4. Modelo de referência RDSI-FL	40

5.5. Camada física	42
5.6. Camada ATM	43
5.6.1. Formato da célula ATM	43
5.6.2. Estrutura de comutação	44
5.7. AAL (ATM Adaptation Layer)	45
5.7.1. AAL - 1 (ATM Adaptation Layer nível 1)	47
5.7.2. AAL - 2 (ATM Adaptation Layer nível 2)	47
5.7.3. AAL - 3/4 (ATM Adaptation Layer nível 3 e 4)	47
5.7.4. AAL - 5 (ATM Adaptation Layer nível 5)	48
5.7.5. AAL - 6 (ATM Adaptation Layer nível 6)	48
5.8. Qualidade de serviço	49
5.8.1. Contrato de serviço	49
5.8.2. TD (Traffic Descriptor)	49
5.8.3. Categorias de serviço definidas pelo ATM Forum	50
5.8.3.1. CBR (Constant Bit Rate)	50
5.8.3.2. VBR (Variable Bit Rate)	51
5.8.3.3. ABR (Available Bit Rate)	51
5.8.3.4. UBR (Unspecified Bit Rate)	51
5.8.4. Contrato de tráfego	52
5.9. IPOA (Internet Protocol Over ATM)	53
5.9.1. Encapsulamento IPOA	53
5.9.2. Arquitetura IPOA	54
5.9.3. Divisão em subredes ATM	55
5.9.4. Estabelecimento de conexão	56
5.9.5. QoS no IPOA	57
5.10. Serviço de emulação LAN (LAN Emulation)	57
5.10.1. Componentes LANE	58
5.10.1.1. LAN Emulation Server (LES)	58
5.10.1.2. LAN Emulation Configuration Server (LECS)	59
5.10.1.3. Broadcast and Unknown Server (BUS)	59
5.10.2. QoS em LANE	60
5.11. Conclusão	60
6. QoS em aplicações multimídia sobre IP/ATM	63
6.1. Motivação	63
6.2. O objetivo	63
6.3. Trabalhos relacionados	63
6.3.1. Serviços integrados / RSVP sobre ATM [Crawley, 98]	64
6.3.1.1. Modelos para o RSVP e Serviços integrados sobre ATM	64
6.3.1.2. Ponto-a-multiponto	64
6.3.2. Suporte MPLS de serviços diferenciados sobre ATM [Wu, 97]	65
6.3.2.1. Estabelecimento do LSP para DiffServ sobre MPLS ATM	66
6.3.2.2. Etiqueta para DiffServ sobre MPLS ATM	67
6.3.3. Suporte de QoS para fluxos IP sobre ATM [Braun, 97]	69
6.3.3.1. Arquitetura proposta	69
6.3.3.2. Tabela ATM ARP QoS	69
6.3.3.3. Modificações na origem	70
6.3.4. Avaliação das propostas apresentadas	71
6.4. Arquitetura proposta	72
6.5. Simulação da proposta	74
6.5.1. Arquitetura simulada	75
6.5.2. Descrição das classes implementadas	76
6.5.3. Descrição dos resultados da simulação	77

7. Conclusão	80
8. Referências bibliográficas	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Técnica de bufferização [Lu, 96]	6
Figura 2.	Um modelo conceptual de QoS [Lu, 96].....	11
Figura 3.	A Arquitetura Internet	17
Figura 4.	IP para comunicação entre estações sobre LANs e WANs	19
Figura 5.	Formato do pacote IPv4	21
Figura 6.	Formato do pacote IPv6	24
Figura 7.	Formato do cabeçalho.....	25
Figura 8.	Pacote com todos os cabeçalhos.....	26
Figura 9.	STDM: Multiplexação por divisão de tempo síncrona	38
Figura 10.	Célula ATM.....	39
Figura 11.	Visão ATM com interfaces UNI/NNI	40
Figura 12.	Modelo Referência (RDSI-FL).....	40
Figura 13.	Arquitetura do ATM	42
Figura 14.	Cabeçalho da célula no NNI.....	43
Figura 15.	Cabeçalho da célula no UNI.....	44
Figura 16.	Conexão com canal virtual	45
Figura 17.	Formato da PDU-AAL-5 no IPOA.....	53
Figura 18.	Funcionamento do IPOA.....	54
Figura 19.	Exemplo de estabelecimento de conexão em IPOA	56
Figura 20.	Arquitetura do cliente LAN Emulation.....	57
Figura 21.	Modelo LAN Emulation do ATM Forum.....	58
Figura 22.	Servidor BUS [Zeitnet, 96].....	60
Figura 23.	Arquitetura de implementação do Clássico IP sobre ATM	70
Figura 24.	Arquitetura da proposta Extensão do CLIP sobre ATM.....	73
Figura 25.	Arquitetura Simulada.....	75
Figura 26.	Interface da Simulação.....	78

LISTA DE SIGLAS

AAL	- ATM ADAPTION LAYER
ABR	- AVAILABE BIT RATE
ABT	- ATM BLOCK TRANSFER
ACR	- ALLOWED CELL RATE
ANSI	- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
ATM	- ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE
ATMARP	- ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE ADDRESS RESOLUTION PROTOCOL
BER	- BIT ERROR RATE
BDLC	- BURROUGHS DATA LINK CONTROL
BT	- BURST TOLERANCE
CAC	- CONNECTION ADMISSION CONTROL
CBR	- CONSTANT BIT RATE
CDV	- CELL DELAY VARIATION
CDVT	- CELL DELAY VARIANCE TOLERANCE
CER	- CELL ERROR RATIO
CIDR	- CLASSLESS INTER-DOMAIN ROUTING
CLP	- CELL LOSS PRIORITY
CLR	- CELL LOSS RATIO
CLS	- CONNECTION-LESS SERVERS
CMR	- CELL MISINSERTION RATIO
CPU	- CENTRAL PROCESSOR UNIT
CRC	- CYCLIC REDUNDANCY CHECK
CTD	- CELL TRANSFER DELAY
CTP	- CONTROLLED TRAFFIC PARAMETERS
DBR	- DETERMINISTIC BIT RATE
DQDB	- DISTRIBUTED QUEUE DUAL BUS
FEC	- FORWARD ERROR-DETECTION
FER	- BIT ERROR FRAME
FDDI	- FIBER DISTRIBUTED DATA INTERFACE
FIFO	- FIRST-IN FIRST-OUT
FTP	- FILE TRANSFER PROTOCOL
GFC	- GENERIC FLOW CONTROL
HDLC	- HIGH LEVEL DATA LINK CONTROL
HDTV	- HIGH DEFINITION TELEVISION
IEEE	- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS
IESG	- INTERNET ENGINEERING STEERING GROUP
IETF	- INTERNET ENGINEERING TASK FORCE
IGMP	- INTERNET GROUP MANAGMENT PROTOCOL
IP	- INTERNET PROTOCOL
IPOA	- INTERNET PROTOCOL OVER ATM
IPv4	- INTERNET PROTOCOL VERSION 4
IPv6	- INTERNET PROTOCOL VERSION 6
ISO	- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION
ITU-T	- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION

LAN	- LOCAL AREA NETWORK
LIS	- LOGICAL IP SUBNET
LLC/SNAP	- LOGICAL LINK CONTROL / SUBNETWORK ACCESS PROTOCOL
LSP	- LABEL SWITCHED PATH
LSR	- LABEL SWITCH ROUTER
MBS	- MAXIMUM BURST SIZE
MCR	- MINIMUM CELL RATE
MPEG	- MOTION PICTURE EXPERTS GROUP
MMF	- MULTI-MODE FIBER
NCTP	- NON CONTROLABLE TRAFFIC PARAMETERS
NNI	- NETWORK-NETWORK INTERFACE
N-ISDN	- NARROWBAND -INTEGRATED SERVICES DIGITAL NETWORK
NRT-VBR	- NON-REAL-TIME VARIABLE BIT RATE
NPC	- NETWORK PARAMETS CONTROL
OC	- OPTICAL CARRIER
PCR	- PEAK CELL RATE
PDU	- PROTOCOL DATA UNITS
PER	- BIT ERROR PACKAGE
PPP	- POINT-TO-POINT PROTOCOL
PTI	- PAYLOAD TYPE IDENTIFIER
QoS	- QUALITY OF SERVICE
RDSI-FL	- REDE DIGITAL DE SERVIÇOS INTEGRADOS - FAIXA LARGA
RSVP	- RESOURCE RESeRVATION PROTOCOL
RT-VBR	- REAL-TIME VARIABLE BIT RATE
SAP	- SERVICE ACCESS POINT
SBR	- STATISTICAL BIT RATE
SCR	- SUSTAINED CELL RATE
SDLC	- SYNCHRONOUS DATA LINK CONTROL
SDH	- SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY
SECBR	- SEVERELY ERRORED CELL BLOCK RATIO
SIPP	- SIMPLE INTERNET PROTOCOL PLUS
SMF	- SINGLE MODE FIBER
SONET	- SYNCHRONOUS OPTICAL NETWORK
ST-II	- STREAM PROTOCOL VERSION II
STM	- SYNCHRONOUS TRANSFER MODULE
STMP	- SIMPLE MAIL TRANSFER PROTOCOL
STP	- SHIELDED TWISTED PAIR
STS	- SYNCHRONOUS TRANSPORT SIGNAL
SMDS	- SWITCHED MULTIMEGABIT DATA SERVICE
SVC	- SWITCHED VIRTUAL CHANNEL
TCP	- TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
TCP/IP	- TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL / INTERNET PROTOCOL
TOS	- TYPE OF SERVICE
TD	- TRAFFIC DESCRIPTOR
UDP	- USER DATAGRAM PROTOCOL
UBR	- UNSPECIFIED BIT RATE
UNI	- USER NETWORK INTERFACE
UPC	- USER PARAMETER CONTROL

UTP	- UNSHIELDED TWISTED PAIR
VBR	- VARIABLE BIT RATE
VCC	- VIRTUAL CHANNEL CONNECTION
VCI	- VIRTUAL CHANNEL IDENTIFIER
VPI	- VIRTUAL PATH IDENTIFIER
WAN	- WIDE AREA NETWORK

1. Introdução

Apesar do conceito de qualidade de serviço (QoS) não ser novo, apenas recentemente ele passou a ser mais difundido e analisado, com o surgimento da RDSI-FL e ATM e de aplicações para as quais a qualidade de serviço (QoS) é fundamental, como aplicações em tempo real, que exigem uma resposta dentro de um certo limite de tempo. Dentre estas classes de aplicações tempo-real estão incluídas as aplicações multimídia.

[Lu, 96] define a qualidade de serviço (QoS) como uma especificação qualitativa e quantitativa dos requisitos de uma aplicação que um sistema multimídia deve satisfazer a fim de obter a qualidade desejada. Este conceito é baseado na idéia de que diferentes aplicações não necessitam do mesmo desempenho da rede e, portanto, deveriam poder especificar seus devidos requisitos de operação (interface com o usuário).

Diversos parâmetros de qualidade de serviço (QoS) podem ser definidos, como por exemplo vazão, retardo e taxa de erros. Entretanto, a sua efetiva utilização numa rede não é tão trivial. O primeiro problema a ser considerado é como negociar as condições em que a rede deve operar. Depois, como garantir que essas condições sejam atingidas e mantidas ao longo do tempo e que atitude tomar caso isso não seja mais possível.

Tanto as redes ATM quanto a Internet possuem modelos de Qualidade de Serviço (QoS). No primeiro temos um contrato entre as partes envolvidas, que define a carga de tráfego e os parâmetros de qualidade especificados. Já para a Internet foi necessário criar protocolos que permitissem a reserva de recursos, como (RSVP - Resource ReSerVation Protocol), de modo a imprimir maior confiabilidade aos serviços.

Existem poucas implementações de aplicações sobre AAL - camada de Adaptação ATM, cuja principal característica é prover uma complementação de funções específicas aos serviços que não podem ser fornecidos pelo nível ATM, o que motivou a utilização de aplicações IP sobre ATM. Observe-se entretanto que, com o surgimento do ATM, um grande número de aplicações IP poderia ser reutilizado sob uma rede de alta velocidade.

Existem basicamente duas formas de IP sobre ATM:

- O CLIP (Clássico IP sobre ATM) trata do encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de adaptação AAL-5, na qual não existe interface para prover QoS para as aplicações que rodam no CLIP. Neste esquema, os pacotes IP são transportados por PDUs (Protocol Data Units) do protocolo AAL-5 da camada de adaptação ATM.
- O LAN Emulation é um padrão do ATM Forum que suporta pacotes de LAN convencionais como Ethernet e Token Ring dentro de um ambiente ATM, permitindo que diversas tecnologias trabalhem transparentemente sobre ATM, inclusive o IP.

As redes ATM fornecem a QoS, porém quando da utilização de aplicações IP sobre ATM, tanto para CLIP como para LANE, esta característica é perdida, em função da inexistência de uma interface para gerenciamento de QoS.

O objetivo desta dissertação é apresentar o problema de provimento de QoS em aplicações sobre redes locais IP/ATM e propor uma extensão para o CLIP, onde a aplicação possa definir uma certa qualidade de serviço (QoS).

Esta dissertação está organizada na forma que segue:

- Inicialmente, alguns conceitos básicos da área da multimídia são introduzidos no capítulo 2;
- No capítulo 3 são abordados os aspectos referentes à qualidade de serviço (QoS);
- O capítulo 4 apresenta a arquitetura Internet e algumas propostas de provimento de QoS na Internet;
- No capítulo 5 é apresentada a QoS em redes ATM;
- O capítulo 6 apresenta a proposta de trabalho, cujo objetivo é analisar soluções para suprir a falta de uma interface de qualidade de serviço (QoS) para as aplicações executadas em redes locais IP sobre ATM e propor uma extensão no CLIP para fornecer a QoS desejada.

2. Multimídia

O objetivo deste capítulo é introduzir alguns conceitos acerca de multimídia e sobretudo identificar os principais requisitos de rede de comunicação para transmissão de áudio e vídeo em aplicações multimídia.

2.1. Definição de sistemas multimídia

Os vários tipos de mídia podem ser identificados quanto ao comportamento temporal de apresentação de informação multimídia. Neste caso, as mídias podem ser classificadas em:

- **Mídias discretas:** qualquer espécie de mídia tradicionalmente utilizada em documentos impressos, como texto e imagens;
- **Mídias contínuas:** informações que dependem da taxa em que são apresentadas. Por exemplo: um vídeo consiste em um número de quadros ordenados, cada um destes quadros tem uma duração de apresentação fixa.

Com base nessa classificação, vários autores definem sistemas multimídia como sistemas suportando a apresentação de ao menos uma mídia discreta e uma mídia contínua, ambas representadas na forma digital.

2.2. Características das fontes de tráfego multimídia

Tráfego multimídia normalmente consiste de grandes fluxos de dados gerados por fontes de áudio e vídeo. Mesmo se estes fluxos são quebrados em pacotes ou quadros para transporte na rede, é importante manter a integridade destes fluxos, e isto implica em algumas restrições quanto aos parâmetros de desempenho da rede.

Para examinar os requisitos de rede para multimídia, é necessário inicialmente conhecer as características de tráfego multimídia.

Fluxos de dados multimídia são caracterizados de acordo com a variação de vazão com o tempo, a dependência e a continuidade temporais.

2.2.1. Variação de taxa de bits com o tempo

O tráfego multimídia pode ser caracterizado como taxa de bits constante ou taxa de bits variável:

- **Tráfego a taxa de bits constante:** alguns fluxos multimídia, tal como fluxo de áudio não compactado, geram sua saída a uma taxa de bits constante (CBR - Constant Bit Rate). Para aplicações em tempo-real envolvendo fluxos de dados CBR, é importante que a rede transporte estes fluxos de dados a uma taxa de bits constante. Caso contrário, é necessário a realização de uma bufferização custosa em cada sistema final;
- **Tráfego a taxa de bits variável:** o tráfego a taxa de bits variável (*VBR - Variable Bit Rate*) tem uma taxa de bits que varia com o tempo. Este tipo de tráfego normalmente ocorre em rajadas, que são caracterizados por períodos aleatórios de relativa inatividade quebrados com rajadas de dados. Uma fonte de tráfego em rajada gera uma variação do conjunto de dados em diferentes intervalos de tempo. A maioria das fontes de áudio e vídeo compactadas gera fluxo a taxa de bits variável. Uma boa medida deste tipo de tráfego é dada pela relação entre o pico da taxa de bits pela taxa de tráfego média em um dado período de tempo.

2.2.2. Dependência temporal

Um dos principais parâmetros de desempenho da rede é o *atraso fim-a-fim*, que significa o tempo gasto para transmitir um bloco de dados de um emissor a um receptor.

Quando pessoas estão envolvidas na comunicação, o *atraso total fim-a-fim* deve ser abaixo de um nível de tolerância, que permita assim um certo nível de interatividade. Por exemplo, na videofonia o atraso total de transmissão das imagens e da voz de um interlocutor da fonte para o destino deve ser pequeno, na ordem de 300 ms [Lu, 96].

Caso contrário, a conversação perde em interatividade.

2.2.3. Continuidade temporal

No caso de mídias contínuas, como áudio e vídeo, embora a compressão reduza o tamanho dos dados, o requisito de continuidade temporal existe tanto para fluxos compactados, como para fluxos não compactados. Ou seja, as amostras de áudio ou quadros de vídeo, mesmo que compactados, devem ser amostradas e apresentadas em intervalos regulares, senão a qualidade percebida será inaceitavelmente baixa. Esta propriedade é chamada de isocronia ou sincronização intramídia.

2.3. Requisitos para transmissão de áudio e vídeo

É relativamente fácil garantir o desempenho para comunicação multimídia com largura de banda garantida usando computadores dedicados e redes a comutação de circuitos. Mas, por razões econômicas, os sistemas multimídia mais interessantes e potencialmente úteis são distribuídos, compartilhados entre vários usuários e usam um tipo de rede a comutação de pacotes em vez de redes a comutação de circuitos dedicados [Lu, 96].

Esta seção identifica os principais requisitos que a transmissão de áudio e vídeo impõem às redes de comunicação. Estes requisitos serão expressos em termos de características de desempenho da rede tal como vazão, confiabilidade, atraso e serviço de atraso. Outros requisitos, tal como comunicação multicast, também são discutidos.

2.3.1. Requisitos de vazão

Uma grande largura de banda é um requisito básico para aplicações multimídia, sem a qual a rede é definitivamente inapropriada para multimídia.

Dois padrões de compressão de vídeo são particularmente relevantes: ISO MPEG e ITU H.261. Em termos de largura de banda, eles necessitam de 1,2 a 80 Mbps para MPEG e MPEG-2 e de 64 Kbps a 2 Mbps para H.261. Assim, nós podemos concluir que para as aplicações multimídia atuais é necessário uma vazão entre 0,4 a 1,4 Mbps.

Outro requisito associado à vazão é o de *continuidade temporal*. Uma rede multimídia deve ser capaz de transportar grandes fluxos de dados, tais como aqueles gerados por fontes de áudio e/ou vídeo. Isto significa que a rede deve ter uma vazão suficiente para assegurar a disponibilidade dos canais de alta largura de banda por

grandes períodos de tempo. Se existem vários fluxos na rede ao mesmo tempo, a rede deve ter uma capacidade de vazão igual ou maior que a taxa de bits agregada dos fluxos.

2.3.2. Requisitos de atraso e variação de atraso

Em todos os sistemas multimídia distribuídos, sempre existe um atraso entre a captura/leitura de uma informação em uma fonte e sua apresentação em um destino. Este atraso, chamado de *atraso fim-a-fim*, é gerado pelo processamento da informação na fonte, sistema de transmissão e processamento no destino.

Em redes a comutação de pacotes, os pacotes de dados não chegam ao destino em intervalos fixos como necessário para transmissão de mídias contínuas. Por causa desta variação de atrasos, pacotes de áudio e vídeo que chegam não podem ser imediatamente apresentados. Caso contrário, teríamos a apresentação de vídeos aos trancos e apresentação de áudios de má qualidade. Em se tratando de percepção humana, a variação de atrasos na transmissão de pacotes de voz é o problema mais crítico, podendo tornar a fala incompreensível.

A abordagem mais utilizada para a remoção desta variação de atraso é o uso de buffers do tipo FIFO (*First-In First-Out*) no destino antes da apresentação. Esta técnica é chamada de técnica de bufferização ilustrada na Figura 1.

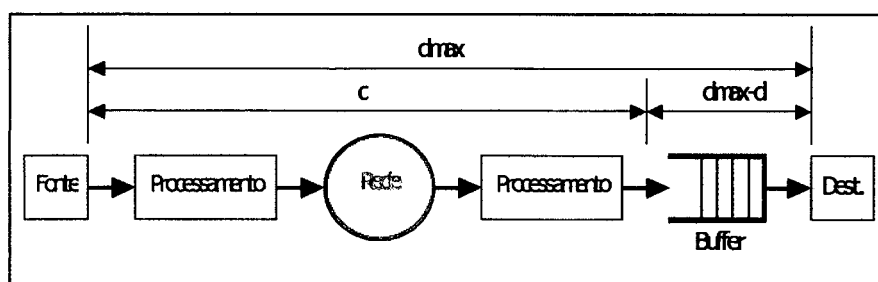


Figura 1. Técnica de bufferização [Lu, 96]

O princípio da técnica de bufferização é adicionar um valor de atraso variável a cada pacote de tal forma que o atraso total de cada pacote seja o mesmo. Por esta razão, este buffer é chamado de buffer de uniformização de atrasos.

A Figura 1 ilustra todas as operações realizadas nos sistemas finais para a transmissão de uma mídia contínua. Neste esquema, o tempo máximo de bufferização é a maior variação de atraso. Quanto maior este valor, maior é o tamanho do buffer necessário. Para satisfazer os requisitos de comunicação multimídia, o buffer não deve

sofrer sobrecarga ou subutilização. Em contrapartida, o tamanho do buffer não deve ser muito grande: um buffer grande significa que o sistema é custoso e o atraso fim-a-fim é muito grande.

2.3.3. Requisitos de confiabilidade (controle de erro)

É difícil precisar os requisitos de controle de erro para redes multimídia. Por isto as aplicações multimídia são, de certo modo, tolerantes a erros de transmissão. Parte da razão desta tolerância está associada aos limites da percepção sensorial humana, que muitas vezes nem percebe, ou percebe muito pouco, erros em quadros de vídeo e amostras de áudio.

2.3.4. Capacidade de multicasting

Várias aplicações multimídia necessitam distribuir fluxos para vários destinos, como na distribuição de áudio e vídeo em geral. É muito lento e dispendioso enviar uma cópia da informação para cada destino uma-a-uma. É lento, pois o acesso à rede e a transmissão tomam tempo. É dispendioso, pois a mesma informação pode ser transmitida sobre a mesma ligação de rede muitas vezes. Uma solução é fazer com que a fonte envie o dado apenas uma vez e a rede seja responsável pela transmissão do dado a múltiplos destinos. Esta técnica é chamada de *Multicasting*.

2.3.5. Garantias de desempenho

A importância da garantia de desempenho em aplicações multimídia é permitir o uso eficiente de recursos de rede e garantir o desempenho da aplicação durante a execução.

Para garantir o desempenho, a rede deveria garantir que um pacote possa acessar a rede em um tempo especificado e que quando na rede, o pacote deveria ser liberado dentro de um tempo fixo. Existem duas possibilidades da não garantia de desempenho:

- Protocolo de controle de acesso ao meio de transmissão (MAC) não garantindo o tempo de acesso à rede. Neste caso, o pacote pode levar muito tempo para ter acesso à rede;

- Falha de garantia de desempenho nos nós intermediários ou comutadores da rede. Uma vez estando o pacote na rede, o meio de transmissão enviará o pacote na velocidade da luz ou de elétrons da fonte ao destino diretamente ou para um nó intermediário da rede ou comutador. Se a fonte estiver conectada diretamente ao destino, o pacote será transmitido sem atrasos adicionais. Mas se existirem um ou mais comutadores entre a fonte e o destino, atrasos extras e perdas de pacotes poderão ocorrer, pois, a cada troca, o pacote deve ser bufferizado, o canal de saída para o pacote deve ser determinado e, apenas quando o canal estiver disponível, o pacote será transmitido. Este processo armazenar-e-retransmitir é indeterminístico. O buffer no comutador pode estar cheio, causando perdas de pacotes. O processador pode estar ocupado, atrasando a decisão de comutação. Canais de longa distância podem estar ocupados, causando atrasos extra.

Este segundo problema pode ser resolvido através de um controle de admissão e gestão de recursos de rede, especialmente filas em comutadores. Se o desempenho de um canal não é garantido, ou sua aceitação afetar outros canais existentes, este canal não deveria ser admitido.

2.4. Conclusão

Como visto nas seções anteriores, os sistemas multimídia impõem diversos e duros requisitos tanto em nível de processamento como de comunicação. Um dos principais requisitos é a garantia de desempenho. Para fornecer uma única abordagem para que diferentes aplicações especifiquem as garantias de desempenho necessárias e para que sistemas forneçam as garantias requeridas, foi introduzido o conceito de Qualidade de Serviço (QoS). Este será o assunto tratado no próximo capítulo.

3. Qualidade de serviço

Nas aplicações multimídia em tempo real, como videoconferência, é indispensável que a rede garanta certos parâmetros de desempenho, permitindo assim que os usuários distantes possam comunicar-se efetivamente através das transmissões de áudio e vídeo, garantidas com uma certa qualidade sob pena de inviabilizar a sua utilização.

Portanto, em comunicações multimídia é importante garantir o desempenho fim-a-fim. Visando a fornecer uma única abordagem, permitindo que diversos tipos de aplicações possam especificar seus parâmetros de desempenho e que os sistemas possam garantir o desempenho especificado, é que foi concebido o conceito de qualidade de serviço (QoS). [Lu, 96] define a qualidade de serviço (QoS) como uma especificação qualitativa e quantitativa dos requisitos de uma aplicação que um sistema multimídia deveria satisfazer a fim de obter a qualidade desejada. Baseado nesta definição, existem dois aspectos para a QoS: aplicações que especificam os requisitos de QoS; e sistema que fornece as garantias de QoS.

Ao contrário dos serviços tradicionais de transmissão de dados, como File Transfer Protocol (FTP) e Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), em que as variações na transmissão são freqüentemente despercebidas, os vídeos e os áudios são úteis somente se esta variação de atraso estiver dentro de um limite especificado.

Um outro parâmetro de desempenho de rede é o atraso, que significa o tempo levado para transmitir um bloco de dados de um emissor a um receptor.

A noção de QoS foi inicialmente usada em comunicações de dados para caracterizar o desempenho da transmissão dos dados em termos de confiabilidade, atraso e vazão. Por exemplo, o modelo de referência (MR-OSI) tem alguns parâmetros de QoS que descrevem a velocidade e a confiabilidade da transmissão, tal como a vazão, o atraso de trânsito, e a taxa de erro e a probabilidade de falha de estabelecimento da conexão.

Os parâmetros (MR-OSI) de QoS são especificados na camada de transporte e não têm seus significados diretamente controlados pela aplicação. Estes parâmetros não atendem a todos os requisitos da comunicação multimídia e são apenas usados em nível de transporte. Nenhum mecanismo é especificado no (MR-OSI) para garantir a QoS para

os requisitos solicitados. Para as comunicações multimídia, a QoS deve ser especificada e garantida fim-a-fim em todos os níveis. Portanto, as aplicações multimídia requerem um novo modelo de QoS.

A seguir, será apresentada a estrutura geral da qualidade de serviço, com sua especificação, negociação e renegociação, garantias e o protocolo de reserva de recurso RSVP.

3.1. Estrutura geral da qualidade de serviço

[Lu, 96] propõe uma estrutura de qualidade de serviço que aborda os seguintes tópicos:

- Especificação da qualidade de serviço;
- Negociação / renegociação da qualidade de serviço;
- Garantias da qualidade de serviço.

A aplicação especifica seus requisitos de QoS e os submete ao sistema. O sistema, a partir da especificação da QoS requerida, determina se existem recursos necessários para satisfazer os requisitos desejados. Em caso afirmativo, ele aceita a aplicação e reserva os recursos. Caso contrário, o sistema pode rejeitar a aplicação ou sugerir uma QoS menor, ou seja, com menos recursos solicitados.

3.1.1. Especificação da qualidade de serviço

Para fornecer especificações e garantias de QoS geralmente é utilizada uma sessão orientada à conexão. Antes do estabelecimento da conexão, os parâmetros de QoS devem ser especificados e negociados com todos os subsistemas interessados.

[Lu, 96] define um modelo de QoS considerando 3 camadas como ilustrado na Figura 2, usuário, aplicação e sistema.

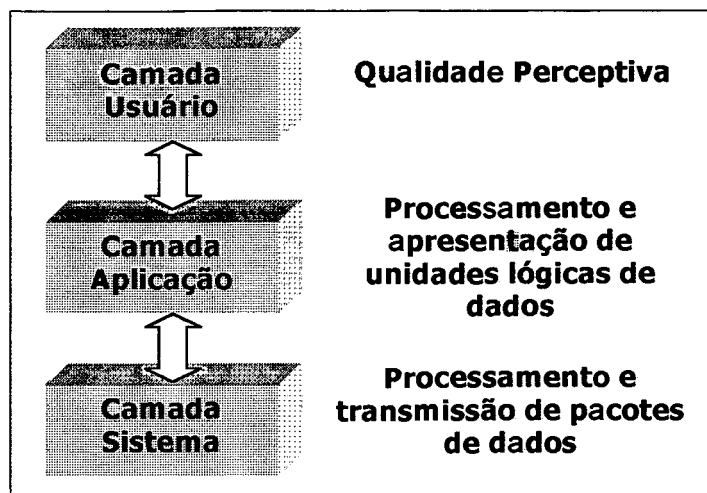


Figura 2. Um modelo conceitual de QoS [Lu, 96]

3.1.1.1. Camada do usuário

O resultado da QoS é a qualidade percebida pelo usuário final. Normalmente, o usuário final é aquele que dá início à QoS. Neste nível, a qualidade é normalmente medida qualitativamente, tal como excelente, bom, aceitável, não aceitável, ou muito pobre. A qualidade percebida é então algo subjetivo. A qualidade previamente escolhida pelo usuário implica diretamente na carga de serviço prestado; quanto maior a qualidade requerida, maior a carga. Este fato desencorajará os usuários a sempre escolherem a melhor qualidade.

Os usuários serão então o ponto de partida para uma consideração global de QoS. Assim, a fonte primária dos requisitos de QoS é o usuário e uma interface apropriada que deve ser fornecida para facilitar a escolha dos parâmetros. Neste nível, muitos parâmetros poderiam não ser entendidos pelo usuário e deveriam ser ocultos. Uma melhor abordagem é apresentar escolhas a partir de exemplos de diferentes qualidades, tal como vídeo de qualidade, TV normal ou HDTV, ou áudio de qualidade, telefone ou CD. A escolha do usuário é automaticamente mapeada em parâmetros da camada da aplicação.

3.1.1.2. Camada da aplicação

As escolhas feitas pelo usuário são mapeadas em um conjunto de parâmetros que o nível de aplicação deve satisfazer para cumprir os requisitos do usuário. Os parâmetros neste nível são associados às unidades lógicas de dados, tal como quadro de vídeo e amostras de áudio. Para vídeo, alguns parâmetros típicos são: tamanho de

imagem, bits por pixel e taxa de imagens. Para áudio, alguns parâmetros típicos são: taxa de amostragem e bits por amostra. Além disso, relacionamentos entre áudios, vídeos e outras mídias devem também ser especificados quando duas ou mais mídias relacionadas são usadas. Abaixo são mostradas algumas aplicações com a qualidade especificada pelo usuário e os parâmetros de QoS correspondentes no nível de aplicação.

Especificação do Usuário	Parâmetro de Aplicação Taxa de amostragem	Parâmetro de Sistema Taxa de bits
Qualidade de Voz Telefone	Amostragem = 8 kHz 8 bits por amostra	64 Kbits/s (s/ compactação) 16 Kbits/s (c/ compactação) Atraso fim-a-fim < 150ms Perdas de pacote < 1%
Áudio CD	Amostragem = 44.1 kHz 12 bits por amostra 2 canais	1.41 Mbits/s (s/ compactação) 128 Kbits/s (c/ compactação) Atraso fim-a-fim < 150ms Perdas de pacote < 0,01% Distorção entre 2 canais < 11 ms
Vídeo NTSC	30 fps resolução 720x480	200 Mbits/s (s/ compactação) 2 Mbits/s (c/ compactação)
HDTV	30 fps resolução 1440x1152	800 Mbits/s (s/ compactação) 10 Mbits/s (c/ compactação)
Sincronização labial	Distorção internídia < 400 ms	Variação de Atraso Requisitos de Buffer

3.1.1.3. Camada do sistema

Na camada de sistema, os parâmetros de QoS devem estar associados com as propriedades dos pacotes ou bits, tal como taxa de bits, taxa de pacotes e atraso de pacotes.

A coluna 3 da tabela acima mostra alguns exemplos de parâmetros a este nível. O sistema deve satisfazer estes parâmetros para cumprir os requisitos da aplicação. Esta é uma camada composta, que inclui o sistema operacional, protocolo de transporte, armazenamento secundário e rede básica. Portanto, os parâmetros podem ser adicionalmente decompostos. Parâmetros nestas sub-camadas podem ser diferentes e devem ser passados de uma camada para outra. Por exemplo, parâmetros na camada de transporte são associados com unidades de dado de protocolo de transporte; a camada de rede é interessada em pacotes de rede; e o armazenamento em disco manipula dados em blocos.

Na camada de sistema são especificados os parâmetros fim-a-fim, tal como atraso e variação de atraso fim-a-fim. Durante a execução, estes parâmetros devem ser divididos em sub-requisitos que devem ser satisfeitos por subsistemas individuais. Por

exemplo, se o atraso total fim-a-fim para uma aplicação é 100ms, então este atraso deve ser dividido em 30ms para um sistema-final, 40ms para a rede, e 30ms para o outro sistema final. Estes atrasos devem ser adicionalmente divididos tanto quanto necessário. Esta subdivisão dos parâmetros fim-a-fim é um problema complexo e deve ser feito durante o processo de negociação.

Geralmente os mapeamentos entre camadas arquiteturais não são um-a-um. Alguns parâmetros são mutuamente dependentes ou contraditórios. Por exemplo, reduzindo a taxa de erros pela permissão de retransmissão, aumenta o atraso de trânsito médio. Além disso, na prática, os valores de QoS requeridos não correspondem a um ponto bem definido, mas a uma região no espaço do parâmetro. O ponto de trabalho instantâneo dentro desta região pode mudar no tempo.

3.1.2. Negociação / renegociação da qualidade de serviço

Durante o processo de negociação, os seguintes passos são realizados:

- Os parâmetros de QoS são passados e negociados de uma camada (ou um subsistema) para outro;
- Cada camada ou subsistema deve determinar se ele pode suportar o serviço requerido. Em caso afirmativo, certos recursos são reservados para a sessão. Quando todos os subsistemas aceitam os parâmetros de QoS a sessão é estabelecida. Senão a sessão é rejeitada. Neste último caso, sistemas sofisticados podem indicar ao usuário qual nível de QoS pode ser suportado. Se o usuário está contente com o nível de qualidade sugerida, a sessão é estabelecida.

As comunicações multimídia não são estáticas. Durante uma sessão ativa, ocorrem trocas na QoS por várias razões:

- Usuário decide reduzir a qualidade de apresentação ou eliminar certos canais;
- Usuário decide aumentar a qualidade de apresentação;
- Necessidade de um canal extra para acessar informações multimídia adicionais.

Portanto, é necessário fornecer mecanismos de renegociação para satisfazer trocas de requisitos de comunicações multimídia. Algumas vezes não é possível

satisfazer requisitos para aumentar a QoS porque os recursos requeridos podem não estar disponíveis.

3.1.3. Garantias de qualidade de serviço

Em geral, existem três níveis de garantia de qualidade de serviço:

- **Garantia determinista ou rígida:** é mais custosa em termos de recursos, pois os recursos são alocados a 100% e eles não podem ser usados por outras aplicações mesmo quando não estão sendo utilizados, o que resulta em um baixo uso dos recursos;
- **Garantia estatística ou soft:** é mais apropriada para mídias contínuas pois não necessitam da utilização dos 100% dos recursos na apresentação. O uso destes recursos é mais eficiente, pois esta garantia é baseada em multiplexação estatística: onde os recursos não utilizados por uma aplicação podem ser usados por outras;
- **Melhor esforço:** neste caso, nenhuma garantia é fornecida e a aplicação é executada com os recursos disponíveis. Os sistemas computacionais tradicionais operam neste modo. A QoS pode ser garantida apenas quando recursos suficientes são disponíveis e o escalonamento de processos é apropriadamente implementado. A prevenção de sobrecargas requer controle de admissão e a prevenção de que aplicações não utilizem mais recursos do que aquele alocado requer mecanismos de policiamento.

Para fornecer garantias de QoS, técnicas de gestão de recursos devem ser usadas. Sistemas multimídia não podem fornecer QoS confiável aos usuários sem a gerência de recursos (ciclos de processamento de CPU, largura de banda da rede, espaço em buffer nos comutadores e receptores) nos sistemas finais, rede e comutadores. Sem a reserva de recursos, atrasos ou corte de pacotes devido a não disponibilidade de recursos necessários podem acontecer na transmissão de dados multimídia.

Para garantias de QoS fim-a-fim é necessário que, cada subsistema disponibilize funções de gerenciamento de QoS, incluindo cinco elementos: especificação de qualidade de serviço (QoS); controle de admissão; negociação e renegociação; alocação de recursos e policiamento de tráfego.

3.2. Protocolo de reserva de recurso (RSVP)

Para possibilitar o gerenciamento de QoS é necessária a existência de um protocolo de reserva de recurso. Este tipo de protocolo, na realidade, não executa a reserva do recurso em si, ele é apenas o veículo para transferir informações acerca dos requisitos de recursos e é usado para negociar os valores de QoS que o usuário deseja para suas aplicações. Para a reserva de recursos, os subsistemas devem prover funções de administração de recurso que forcem e escalonem acessos a recursos durante a fase de transmissão de dados.

O RSVP (*ReSource reSerVation Protocol*) [Zhang, 94] é um protocolo projetado para aumentar o suporte para aplicações tempo-real em redes IP. Ele permite a reserva de recursos em um caminho, mas a transmissão de dados é de responsabilidade do IP. Neste sentido, ele deve ser visto como um protocolo companheiro do IP.

No RSVP, a QoS não é especificada para a rede pelo emissor da informação, mas pelo receptor. A idéia é que o receptor está melhor colocado que o emissor para saber que a QoS é necessária. Por exemplo, não há necessidade de que o emissor envie um fluxo de vídeo a 6 Mbps para o receptor se ele não tem poder de processamento para decodificar mais que 3 Mbps. A implicação desta diferença é que RSVP é mais eficiente no uso de recursos da rede, pois é reservado o estritamente utilizável, além de permitir requisitos de receptor heterogêneos.

Resumidamente, o mecanismo de reserva do RSVP trabalha da seguinte forma:

- A aplicação fonte envia regularmente mensagem especial chamada *Path* para um endereço *multicast*. Esta mensagem contém a especificação do fluxo. Esta mensagem estabelece o estado *Path* nos agentes RSVP intermediários que são usados na propagação dos pedidos de reserva (feita pelos destinatários) para uma fonte específica;
- Na recepção da mensagem *Path*, cada receptor usa informações desta mensagem e informações locais (recursos computacionais, requisitos da aplicação, restrições de custo) para determinar a QoS. Em seguida ele responde a mensagem *path* por uma mensagem *Reservation*, especificando a QoS requerida;

- A rede reserva recurso no caminho de retorno da mensagem *Reservation* para a aplicação fonte. Na passagem da mensagem *Reservation*, os agentes intermediários reservam recursos de rede ao longo do caminho e usam o estado *Path* estabelecido para propagar o pedido para o grupo emissor. A propagação da mensagem *Reservation* termina quando o caminho emenda em uma árvore de distribuição com recursos alocados suficientes para satisfazer os requisitos pedidos.

Quando a QoS exigida por um receptor difere do fluxo emitido pela fonte, filtros de tráfego são usados para reduzir os requisitos de QoS nos agentes RSVP apropriados. Por exemplo, se um receptor é apenas capaz de apresentar imagens preto&branco e a fonte libera dados de imagens coloridas, um filtro será usado para remover os componentes de cor. O filtro também pode combinar vários fluxos de dados em um, antes de enviar ao receptor. Portanto, o estilo de reserva iniciado pelo receptor acomoda requisitos heterogêneos dos receptores. Além de preservar a largura de banda da rede.

3.3. Conclusão

Como visto nas seções anteriores, a qualidade de serviço (QoS) é uma especificação qualitativa e quantitativa dos requisitos de uma aplicação que um sistema multimídia deveria satisfazer a fim de obter a qualidade desejada. Normalmente, a (QoS) é especificada por um conjunto de parâmetros como: taxa de bits, taxa de erros, limites de atraso e variação de atraso.

O objetivo desta dissertação é evidenciar o problema de provimento de QoS em aplicações em redes locais IP sobre ATM. Para tal, é necessário inicialmente examinar a arquitetura Internet, o Protocolo IP e a tecnologia ATM.

4. Internet

A Internet fornece às aplicações multimídia um serviço único do tipo melhor esforço. Sendo assim, aplicações em tempo real e aplicações que não ocorrem em tempo real recebem o mesmo tratamento no nível do suporte de comunicação.

Este capítulo apresenta os principais conceitos de Internet e algumas propostas de modificação da arquitetura, visando a incluir o conceito de QoS na Internet, principalmente fornecendo classes de serviços diferenciados às aplicações.

4.1. Arquitetura Internet

A arquitetura Internet está organizada em quatro níveis: Físico, Rede, Transporte e Aplicação. A Figura 3 ilustra estes quatro níveis.

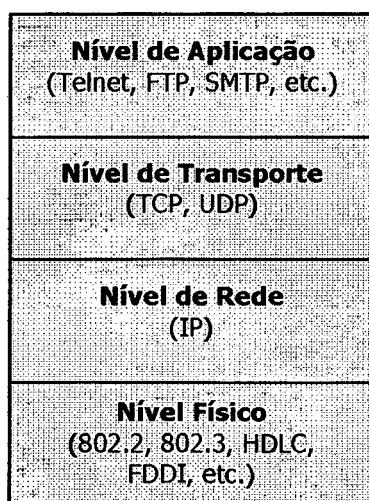


Figura 3. A Arquitetura Internet

4.1.1. Nível físico

Neste nível, é possível utilizar diversos padrões de redes locais como aqueles definidos no IEEE (IEEE 802.2, 802.3, 802.4, etc.), padrões como o HDLC (norma X.25), ou mesmo protocolos proprietários para redes de longa distância (SDLC, BDLC, etc.).

4.1.2. Nível de rede

Os serviços e protocolos implementados a este nível asseguram o poder de conectividade da Internet, sendo a interconexão de diversas redes a função básica deste nível.

Neste nível foi adotado o protocolo IP (*Internet Protocol*) que implementa um serviço de comunicação sem conexão, baseado em comutação de mensagens. O IP implementa um mecanismo de roteamento das mensagens que permite que um programa de aplicação troque informações com outro, mesmo que eles estejam executando em estações conectadas a redes completamente diferentes.

4.1.3. Nível de transporte

Este nível oferece um serviço confiável de transferência de dados fim-a-fim entre aplicações. Os serviços providos a este nível devem oferecer total transparência com respeito aos níveis inferiores e garantir a integridade dos dados trocados na rede, utilizando mecanismos de segurança como *checksum*, controle de fluxo, seqüenciamento, entre outros. Além disso, dada a sua orientação para um conjunto diversificado de aplicações, ele deve dar suporte para o controle de vários canais de comunicação entre as aplicações, simultaneamente.

Os principais protocolos definidos para este nível da Internet são o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*). O IP é um protocolo de rede que opera no modo sem conexão, enquanto o TCP é um protocolo de transporte orientado à conexão. Desta forma, a combinação TCP/IP pode oferecer um serviço de alta confiabilidade.

Para o uso de redes de alta qualidade, onde o problema de confiabilidade não é crítico, pode-se usar o protocolo UDP, que opera no modo sem conexão e possui funcionalidades bem mais simplificadas do que o TCP.

4.1.4. Nível de aplicação

Este nível oferece ao usuário o acesso à Internet, implementando um conjunto de protocolos e serviços padronizados de comunicação para as tarefas mais freqüentemente realizadas na rede: o correio eletrônico (protocolo SMTP - *Simple Mail*

Transfer Protocol), a conexão remota (TELNET) e a transferência de arquivo (o protocolo FTP – *File Transfer Protocol*), entre outros.

4.2. Protocolo IP

Existem várias versões do protocolo IP definidos. A versão utilizada na Internet atualmente é a IPv4. O IPv6 (visto mais adiante) é uma evolução do IPv4, chamada IPng (*Internet Protocol Next Generation*). A Internet baseada no IPv4 deve migrar para uma nova Internet principalmente baseada no IPv6.

As seções que seguem apresentam o IPv4, IP multicast e o IPv6.

4.2.1. IPv4 (Internet Protocol version 4)

Existem dois modos de emprego do protocolo IP ilustrado na Figura 4 [Fluckiger, 95]:

- Como um mecanismo de pacote armazenar-e-retransmitir, usado para criar redes IP formadas por nós IP, chamados **roteadores**, e de ligações de vários tipos entre estes nós ilustrado na Figura 4b;
- Como um formato usado pelos computadores para estruturar seus fluxos de informação em blocos, os **pacotes IP**, que são transferidos sobre qualquer tipo de rede e não necessariamente sobre uma malha de roteadores IP ilustrado na Figura 4a.

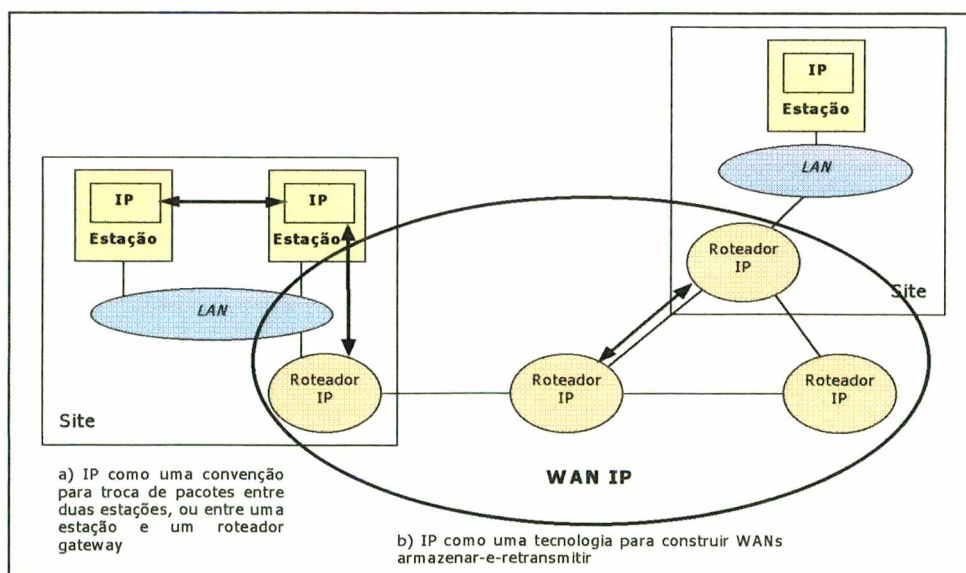


Figura 4. IP para comunicação entre estações sobre LANs e WANs

Para o primeiro caso ilustrado na Figura 4a, uma rede IP é constituída resumidamente por sub-redes conectadas através de elementos denominados *roteadores*. Os *roteadores*, através do protocolo IP, são responsáveis pelo encaminhamento dos blocos de dados, denominados *datagramas ou pacotes*, do host de origem ao host de destino, que são identificados por endereços IP. O protocolo também fornece o serviço de fragmentação e remontagem de datagramas longos que precisam ser separados em pacotes de tamanho menores pela limitação do tamanho imposta por algumas redes por onde o datagrama passa até chegar ao destino. Nesta camada é realizado também o mapeamento de endereços IP em endereços físicos e vice-versa.

Abaixo, encontram-se resumidas as principais características das redes IP:

- IP é um protocolo sem conexão. Isto significa que a rede não tem conhecimento das comunicações entre computadores. A rede apenas vê e transporta *datagramas* independentes. Não existem mecanismos de controle de admissão usados pela rede para regular o fluxo de dados emitidos. Isto produz variações de atraso e perda de pacotes;
- A rede resultante fornece um serviço de transmissão de pacotes do tipo melhor esforço. Nenhum recurso explícito é reservado para uma dada comunicação entre computadores. O IP transmite aquilo que o serviço de enlace pode fornecer (menos uma pequena fração de sobrecarga). Como resultado, os pacotes são liberados com atrasos de trânsito variáveis;
- No caso de sobrecarga, a rede pode descartar pacotes, sendo que as estações (sistemas finais) não são notificadas dos pacotes descartados. Geralmente a perda de pacotes ocorre nas filas dos roteadores IP;
- Os roteadores, através do protocolo IP, são responsáveis pelo encaminhamento dos datagramas do *host* (estação conectada à rede) de origem ao *host* de destino, que são identificados por endereços IP. Existem vários protocolos de roteamento nas redes IP, que são mecanismos para decidir qual é a rota mais apropriada para tomar quando um pacote é submetido por uma fonte para o transporte até um destino remoto. Alguns protocolos são estáticos, no sentido de que as rotas apenas mudam no caso de falhas de um componente ao longo do caminho. Assim, na ausência de falhas, pacotes são liberados em seqüência. Outros protocolos tentam balancear a carga sobre a rede, estimando a carga instantânea de cada rota. Pacotes podem assim ser liberados fora de seqüência;

- O meio normal de interconexão de uma rede local conectando estações (que internamente usam IP) a uma WAN IP é usando um roteador IP como gateway. Um roteador IP gateway tem ao menos duas portas: uma para a rede local e uma para conexões de longa distância. Roteadores normalmente suportam praticamente todas as tecnologias de conexão longa distância (incluindo um protocolo ponto-a-ponto dedicado chamado PPP, x.25, a rede de telefone comutada, N-ISDN, Frame Relay, SMDS, ou ATM);

4.2.1.1. Formato do pacote IPv4

O datagrama IP é a *unidade básica de dados* no nível IP. Um datagrama está dividido em duas áreas, uma área de cabeçalho e outra de dados. Na área de dados está encapsulado o pacote do nível superior, ou seja, um pacote TCP ou UDP. A Figura 5 ilustra o formato do cabeçalho do pacote IP. Eles contêm toda a informação necessária que identifica o conteúdo do datagrama.

0	4	8	16	19	24	31
VERS	HLEN	TOS	TOTAL LENGTH			
IDENTIFICATION			FLAGS	FRAGMENT OFFSET		
TIME TO LIVE		PROTOCOL	HEADER CHECKSUM			
SOURCE IP ADDRESS						
DESTINATION IP ADDRESS						
IP OPTIONS (IF ANY)					PADDING	
DATA						

Figura 5. Formato do pacote IPv4

Os campos que compõem o cabeçalho são os seguintes:

- **Vers:** versão do protocolo IP que foi usada para criar o datagrama (4bits);
- **HLen:** comprimento do cabeçalho, medido em palavras de 32 bits (4 bits);
- **Total-Lenght:** comprimento do datagrama medido em bytes, incluindo cabeçalho e dados;
- **TOS:** pode ser usado para diferenciar, classificar o pacote e uma série de classes de serviço. Este campo é dividido em:

- **Precedence:** (3 bits) indica prioridade de datagramas com valores desde 0 (precedência normal) até 7 (controle da rede), com estes bits permite-se ao transmissor indicar a importância de cada datagrama que ele está enviando;
- **D,T,R:** indicam o tipo de transporte que o datagrama deseja, Baixo Retardo(D), Alta Capacidade de Processamento(T) e Alta Confiabilidade(R).

Estes tipos de serviços geralmente não são oferecidos, já que dependem das condições físicas da rede:

- **Identification, Flags e Fragments:** estes três campos controlam a fragmentação e a união dos datagramas;
- **TTL (Time To Live):** especifica o tempo em que o datagrama está permitido a permanecer no sistema Internet. Gateways e hosts que processam o datagrama devem decrementar o campo TTL cada vez que um datagrama passa por eles e devem eliminá-lo quando seu tempo expirar;
- **Protocol:** especifica qual protocolo de alto nível foi usado para criar a mensagem que está sendo transportada na área de dados do datagrama;
- **Header-Checksum:** assegura integridade dos valores do cabeçalho;
- **Source and Destination IP Address:** especifica o endereço IP de 32 bits do remetente e receptor;
- **Options:** é um campo opcional. Este campo varia em comprimento dependendo de quais opções estão sendo usadas.

4.2.2. IPv6 (Internet Protocol version 6)

O mundo das comunicações está em constante movimento. Novas tecnologias são introduzidas e as antigas devem se adaptar ou tornar-se obsoletas. Desde que surgiu a rede mundial Internet, e a primeira versão do protocolo IP (Internet Protocol) foi desenvolvida, o poder de processamento das máquinas cresceu muito e o número de máquinas conectadas à rede aumentou de algumas centenas para milhões. A versão 4 do IP conseguiu acomodar todas as mudanças e continuou tornando-se cada vez mais popular, embora não tenha sido originalmente projetada para dar suporte a uma rede de escala universal ou que permitisse aplicações multimídia [Nierle, 96].

Em 1991, membros do IETF (Internet Engineering Task Force) chegaram à conclusão de que o crescimento exponencial da rede levaria à exaustão dos endereços IP até o final do ano de 1994. Isso se as tabelas de roteamento simplesmente não esgotassem toda a capacidade dos equipamentos de roteamento da época.

Essa crise foi superada a curto prazo com a adoção do CIDR (Classless Inter-Domain Routing), que consistia resumidamente em dar blocos de endereços IP Classe C contínuos a regiões do planeta (Europa, Ásia, etc.), onde essas regiões dividiriam seus blocos em blocos menores, mas ainda contínuos, até que todas as redes tivessem seus endereços. Com o uso de uma máscara de rede, os roteadores usavam uma máscara para endereçar todo um bloco de endereços e assim conseguiam diminuir a tabela de roteamento [Tanenbaum, 96]. Mas o CIDR não seria uma solução duradoura, outra deveria ser projetada a longo prazo.

Em 1993, o IESG (Internet Engineering Steering Group) criou um grupo de trabalho para uma nova versão do protocolo IP, o IpnngWG (IP Next Generation Working Group), com base em alguns objetivos que deveriam ser alcançados. Este grupo de trabalho selecionou protocolos "candidatos" para a camada de rede da arquitetura TCP/IP. O vencedor foi o SIPP (Simple Internet Protocol Plus) [R&D 95], por diferir menos do IPv4 e ter um melhor plano de transição. Mas uma combinação de aspectos positivos dos três protocolos candidatos foi feita e com isso gerou-se a recomendação para a versão 6 do IP em novembro de 1994.

A nova versão do protocolo IP foi desenvolvida com alguns objetivos, tendo em mente que deveria ser um passo evolucionário em relação à versão 4 [Hinden, 95], mas não um passo radicalmente revolucionário. Funções de IPv4 desnecessárias foram removidas; funções que trabalhavam bem foram mantidas; e novas funcionalidades foram acrescentadas. É um avanço "natural".

Os objetivos que devem ser alcançados com a nova versão do protocolo IP são [Tanenbaum, 96]:

- Suporte a bilhões de hosts - através da expansão do espaço de endereçamento e uma hierarquia mais versátil. O novo protocolo IP aumenta o espaço de endereçamento de 32 para 128 bits, suportando mais níveis de hierarquia de endereçamento, um número muito maior de nodos endereçáveis, e permitindo a auto-configuração de nodos;
- Redução da tabela de roteamento;

- Protocolo passível de expansão, através do uso de cabeçalhos de extensão;
- Simplificação do cabeçalho do protocolo, diminuindo o tempo de processamento na análise dos cabeçalhos, por parte de roteadores e hosts;
- Garantia de mais segurança (autenticação e privacidade) em relação à versão atual;
- Criação de um campo que suporte, mecanismos de controle de qualidade de serviço, gerando maior sensibilidade ao tipo de serviço, como, por exemplo, serviços de tempo real;
- Permissão de multicasting, através da especificação de escopos de sessões multicasting;
- Permissão de máquinas wireless mudarem fisicamente de lugar sem mudança em seus endereços IP;
- Habilitação de máquinas que possam se autoconfigurar (número IP, servidor) ao serem ligadas na rede, operação "plug and play";
- Um novo tipo de endereço chamado anycast, conceitualmente uma "cruz" entre unicast e multicast: esse tipo de endereço identifica um conjunto de nodos, onde um pacote enviado para um endereço anycast será entregue a um destes nodos;
- Coexistência das duas versões do protocolo por um bom tempo, pois não se pode determinar uma data específica para que todas as máquinas no mundo troquem seus programas.

4.2.2.1. Datagrama

O IPv6 muda completamente o formato do datagrama IP. Como ilustrado na Figura 6, um datagrama IPv6 tem um cabeçalho base fixo seguido de 0 ou mais cabeçalhos extras, seguidos pelos dados.

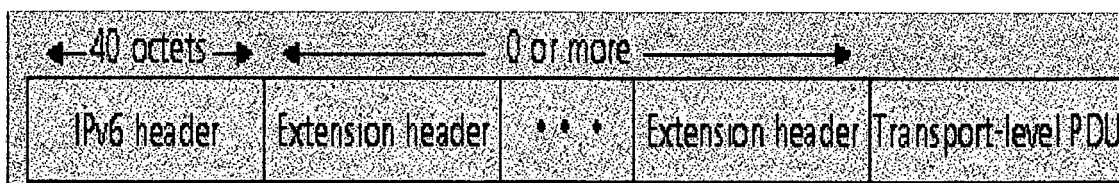


Figura 6. Formato do pacote IPv6

O cabeçalho do protocolo foi simplificado, sendo que alguns campos do cabeçalho da versão 4 foram retirados ou deixados como opcionais, de modo a reduzir o processamento de cabeçalhos tanto quanto não se perceba que o tamanho dos endereços aumentou (devido ao redimensionamento do espaço de endereçamento), o que poderia aumentar também o tempo de processamento dos cabeçalhos. Enquanto os endereços da versão 6 são 4 vezes maiores que os da versão 4, seu cabeçalho é 2 vezes maior.

A Figura 7 ilustra o esquema do cabeçalho:

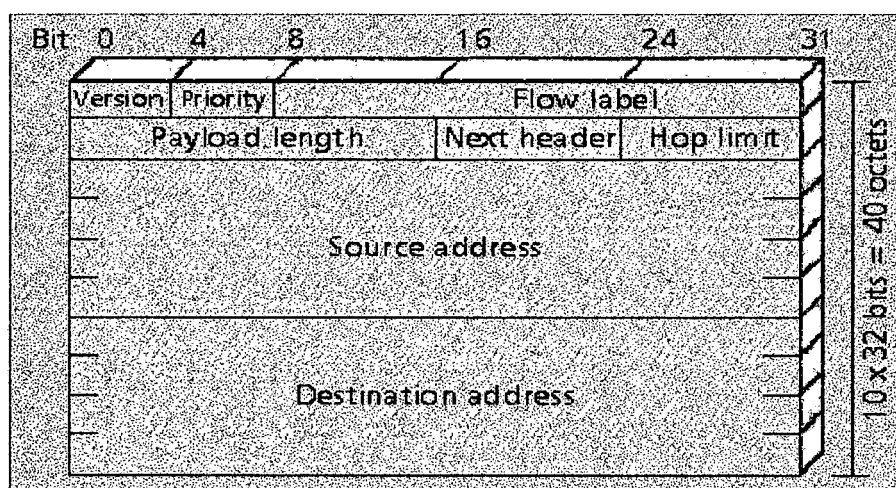


Figura 7. Formato do cabeçalho

- **Version (4 bits):** versão do protocolo;
- **Priority (4 bits):** valor da prioridade;
- **Flow Label (24 bits):** indica o fluxo de dados;
- **Payload Length (16 bits):** é o tamanho do pacote que segue ao cabeçalho IPv6, excluindo este, que tem tamanho fixo de 40 octetos. Desta forma o datagrama pode ter até 64 kbytes;
- **Next Header (8 bits):** identifica o próximo cabeçalho, ou seja, o protocolo acima do IP. Usa os mesmos valores da versão 4, mas vem em substituição ao campo Protocol da versão 4;
- **Hop Limit (8 bits):** número máximo de hops pelos quais o pacote pode trafegar. Decrementado em 1 a cada novo hop. Quando seu valor é igual a 0 o pacote é descartado. Este campo substitui o TTI da versão 4;
- **Source Address (128 bits):** identifica o endereço origem do pacote;
- **Destination Address (128 bits):** identifica o endereço destino do pacote.

Ter um cabeçalho básico fixo e outros extras vem atender à necessidade de se ter generalidade e eficiência na nova versão. Para ser geral, mecanismos de fragmentação, autenticação, entre outros, devem ser suportados, mas devem ser incluídos somente quando necessários.

Para tanto, são incluídos em cabeçalhos extras, pois se estivessem sempre presentes, o cabeçalho principal do protocolo seria tão grande que o tempo de se processá-lo levaria à ineficiência da rede [Comer, 95].

Um pacote IPv6 com todos os cabeçalhos de extensão é ilustrado na Figura 8:

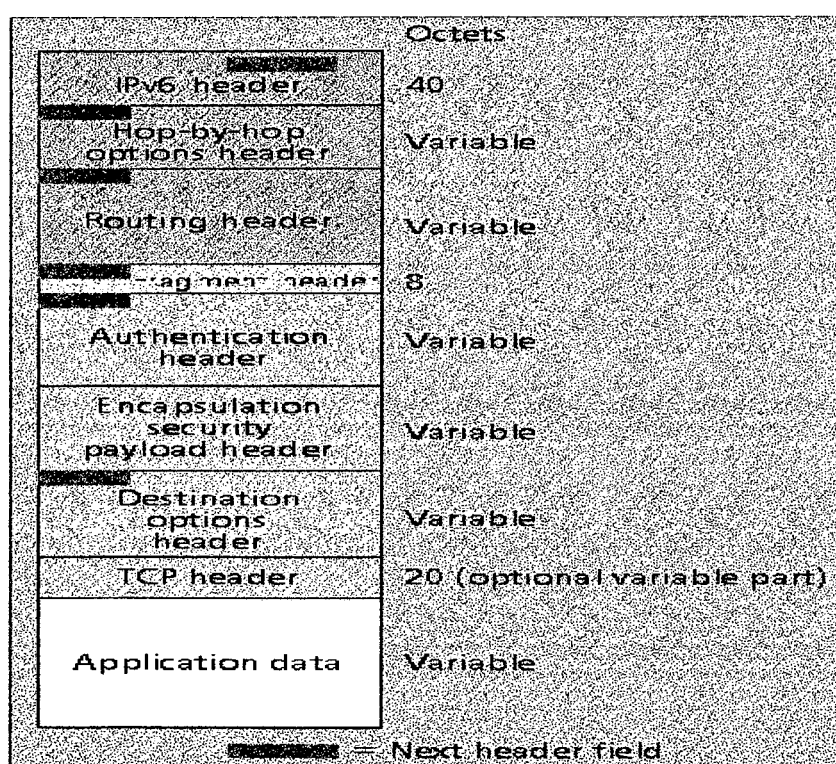


Figura 8. Pacote com todos os cabeçalhos

4.2.2.2. Qualidade de serviço

Os campos de Flow Label e Priority no cabeçalho são usados para identificar aqueles pacotes que necessitam de "cuidados especiais". São pacotes originados de aplicações multimídia ou de tempo real.

O campo Flow label utiliza 24 bits, pode ser usado para identificar um tipo de fluxo de dados [Nierle, 96]. Um fluxo pode-se classificar em fluxo orientado, aquele que demanda muitos pacotes, e fluxo não-orientado, aquele que não demanda muitos

pacotes, mas muito tráfego. Abaixo é apresentado um exemplo para esses tipos de fluxos:

Tráfego Orientado	Tráfego Não Orientado
FTP	DNS
TELNET	SMTP
HTTP	NTP
Multimídia	POP
	SNMP

Dentro de cada categoria (orientada ou não) haveria um identificador de fluxo que iria sugerir o tratamento daquele caso. Quando os roteadores recebessem um pacote com determinado identificador de fluxo, consultariam uma tabela onde recuperariam o tipo de tratamento [Tanenbaum, 96].

O campo **Priority** determina a prioridade do datagrama em relação a outros datagramas da mesma origem. Todos os pacotes de determinado fluxo devem ter a mesma prioridade. Portanto **Flow Label** e **Priority** são dois campos usados em conjunto. Espera-se que esse campo identifique e priorize aplicações iterativas, como multimídia.

O uso efetivo se dá quando o pacote enfrenta um tráfego congestionado. Valores de 0 a 7 nesse campo lidam com transmissões (geralmente TCP) que podem ser retardadas no caso de um congestionamento. Valores de 8 a 15 se referem a aplicações cujo tráfego é constante e um atraso implicaria em perda de informação, como em áudio e em vídeo.

4.3. Qualidade de serviço (QoS) na Internet

Atualmente, existem algumas propostas projetadas para prover um conjunto de extensões ao modelo de entrega de tráfego de melhor esforço atualmente utilizado na Internet. Em essência, elas foram projetadas para dar tratamento especial para certos tipos de tráfego e prover um mecanismo para que as aplicações possam escolher entre múltiplos níveis de serviços de entrega para seu tráfego.

A seguir, serão abordados os modelos de Serviços Integrados, Serviços Diferenciados e MPLS (Multi Protocol Label Switching) para prover qualidade de serviço (QoS) na Internet.

4.3.1. Serviços integrados

Serviços Integrados (*Integrated Services ou IntServ*) [Branden, 94] são baseados na reserva de recursos. Para aplicações tempo real, antes dos dados serem transmitidos, as aplicações devem primeiro configurar caminhos e reservar recursos. RSVP (seção 3.2) é um protocolo de sinalização para configurar estes caminhos e reservar recursos.

O modelo de Serviços Integrados propõe duas classes de serviço em adição ao Serviço Melhor Esforço:

- **Serviço garantido** (*Guaranteed Service*) [RFC 2212]: fornece limites firmes (matematicamente prováveis) em termos de atrasos de enfileiramento que os pacotes sofrerão nos roteadores. Ele garante tanto o atraso quanto a taxa de bits. Basicamente, uma sessão requisitando Serviço Garantido está requerendo que os bits em seus pacotes tenham uma taxa de bits garantida. Note que este serviço não tenta minimizar a variação de atraso, ele controla o atraso máximo de enfileiramento. Para este tipo de serviço, todos os nós intermediários devem implementar os serviços garantidos. Este serviço pode ser útil para aplicações r

No modelo IntServ, os roteadores devem ser capazes de reservar recursos a fim de fornecerem QoS especial para fluxos de pacotes específicos do usuário. Neste caso, o estado específico dos fluxos deve ser mantido pelos roteadores. Este modelo é implementado por quatro componentes:

- **Protocolo de sinalização:** aplicações necessitando de Serviço Garantido ou Serviço de Carga Controlada devem configurar um caminho e reservar recursos antes da transmissão de seus dados. Para isto elas devem usar um protocolo de sinalização (p.e. RSVP);
- **Rotina de controle de admissão:** decide se um pedido de alocação de recursos pode ser garantido. Ela implementa o algoritmo de decisão que um roteador ou host usa para determinar se um novo fluxo pode ter sua QoS garantida sem afetar fluxos anteriormente garantidos;
- **Classificador:** quando um roteador recebe um pacote, o classificador executará uma classificação Multi-Campo (MF – Multi-Field) e colocará o pacote em uma fila específica baseado no resultado da classificação. Cada pacote que chega deve ser mapeado em alguma classe; todos os pacotes na mesma classe obtêm o mesmo tratamento do escalonador. Uma classe pode corresponder a uma grande categoria de fluxos, por exemplo, todos os fluxos de vídeo ou todos os fluxos atribuíveis a uma organização particular. Por outro lado, uma classe pode manter apenas um único fluxo. Uma classe é uma abstração que pode ser local a um roteador particular; o mesmo pacote pode ser classificado diferentemente por diferentes roteadores ao longo do caminho. Por exemplo, roteadores backbone podem escolher o mapeamento de muitos fluxos em poucas classes agregadas, enquanto roteadores periféricos, onde existe menos agregação, podem usar uma classe separada para cada fluxo;
- **Escalonador de pacotes:** após a classificação, o escalonador de pacotes escalona o pacote de modo a satisfazer os requisitos de QoS. O escalonador de pacotes gerencia a retransmissão dos diferentes pacotes, usando um conjunto de filas e possivelmente outros mecanismos tal como timers.

Na Internet de hoje, a retransmissão IP é completamente igualitária: todos os pacotes recebem a mesma qualidade de serviço, e os pacotes são retransmitidos usando uma fila FIFO.

Para IntServ, um roteador deve implementar uma QoS apropriada para cada fluxo, de acordo com o modelo de serviço. A função do roteador que cria diferentes qualidades de serviço é chamada de controle de tráfego. Controle de tráfego é implementado pelos componentes: escalonador de pacote, classificador e controle de admissão, vistos acima.

A arquitetura Serviços Integrados/RSVP representa uma mudança fundamental na arquitetura atual da Internet, que é fundada no conceito de que todas as informações de estado relacionadas aos fluxos deveriam estar nos sistemas finais. Neste sentido, existem alguns problemas com a arquitetura Serviços Integrados [Xiao, 99]:

- O montante de informações de estado aumenta proporcionalmente ao número de fluxos. Isto causa uma sobrecarga de armazenamento e processamento nos roteadores. Portanto esta arquitetura não é escalável;
- Os requisitos nos roteadores são altos: todos os roteadores devem implementar RSVP, controle de admissão, classificação MF e escalonamento de pacotes;
- Para Serviço Garantido, toda a rede deve suportar IntServ. Uma instalação gradativa de Serviço de Carga Controlada é possível pelo emprego de funcionalidades RSVP e Serviço de Carga Controlada nos nós gargalos de um domínio e tunelando as mensagens RSVP para outras partes do domínio.

IntServ/RSVP não são muito adequadas às aplicações do tipo navegadores WWW, onde a duração de um fluxo típico é apenas de poucos pacotes. A sobrecarga causada pela sinalização RSVP poderia facilmente deteriorar o desempenho da rede percebida pela aplicação.

4.3.2. Serviços diferenciados

Devido às dificuldades de implementar e utilizar Serviços Integrados/RSVP, os Serviços Diferenciados (DS - *Differentiated Services* ou *DiffServ*) [Black, 98] foram introduzidos. Eles têm sido escolhidos para serem implementados na Internet2. Neste modelo, os pacotes são marcados diferentemente para criar várias classes de pacotes. Pacotes de classes diferentes recebem diferentes serviços.

A meta do DiffServ é definir métodos relativamente simples (comparados a IntServ) para prover classes diferenciadas de serviço para o tráfego na Internet. O mecanismo é que um pequeno padrão de bits, no campo TOS do IPv4 ou Class do IPv6, é usado para marcar um pacote para que ele receba um tratamento de encaminhamento particular, ou PHBs (*Per-Hop Behaviors*), em cada nó da rede. PHB é o comportamento observável externamente de um pacote em um roteador suportando DS.

O enfoque do DiffServ é padronizar uma estrutura comum a ser usada. Modificando os formatos definidos anteriormente pela IETF, este campo é definido em [Nichols, 98]:

- Seis bits do campo DS são usados como codepoint DSCP (*Differentiated Service CodePoint*) para selecionar o PHB que o pacote terá em cada nó. Este campo é tratado como um índice de uma tabela que é usada para selecionar um mecanismo de manipulação de pacotes implementado em cada dispositivo. Este campo é definido como um campo não estruturado para facilitar a definição de futuros PHBs.
- Um campo de dois bits é reservado (são ignorados por nós DS-conformantes).

Marcando os campos DS dos pacotes diferentemente, e manipulando pacotes baseados nos seus campos DS, várias classes de Serviços Diferenciados podem ser criadas. Portanto, Serviços Diferenciados são essencialmente um esquema de prioridades.

Quanto aos serviços oferecidos por um domínio DS-conformante, devemos notar:

- Serviços DS são todos para tráfego unidirecional apenas.
- Serviços DS são para tráfegos agregados, não fluxos individuais.

A fim de que os clientes recebam Serviços Diferenciados de seu Provedores de Serviço Internet (*ISP – Internet Service Provider*), eles devem firmar um Acordo de Nível de Serviço (*SLA – Service Level Agreement*) com seu ISP. Vários aspectos dos SLAs (como termos de pagamento) são fora do escopo de padronização; é a Especificação do Nível de Serviço (*SLS – Service Level Specification*) que especifica as classes de serviço suportadas e o montante de tráfego permitido em cada classe. Um SLA pode ser estático ou dinâmico. SLA estáticos são negociados mensalmente, anualmente, etc. Clientes com

SLA dinâmicos devem usar um protocolo de sinalização (p.e. RSVP) para pedir por serviços sob demanda.

Os clientes podem marcar os campos DS de pacotes para indicar o serviço desejado ou estes campos são marcados pelo roteador que liga o cliente à rede ISP (leaf router) baseado na classificação MF (multicampo).

No ingresso às redes ISP, os pacotes são classificados, policiados e controlados para torná-los conformes a algum perfil de tráfego pré-instalado. As regras de classificação, policiamento e entradas usadas nos roteadores de ingresso são derivados a partir dos SLAs. O montante de espaço de bufferização necessário para estas operações também é derivado dos SLAs.

Um exemplo simples de perfil de tráfego poderia ser: medir o fluxo de pacotes do endereço IP a.b.c.d e se sua taxa ficar abaixo de 200 kbps, atribua ao byte-DS o valor X, senão atribua o valor Y. Se a taxa excede 600 kbps, corte os bytes excedentes. Os perfis são configurados pelo operador de acordo com o SLAs. Como os perfis são fornecidos (configuração manual ou sinalização) é fora do escopo do diffserv. Dentro da rede (nos roteadores internos ao domínio), o byte DS é usado para determinar como os pacotes são tratados. O tratamento, também chamado de PHB ou comportamento agregado, pode incluir diferentes prioridades envolvendo atraso de enfileiramento (escalonamento), diferentes prioridades na decisão de descarte na sobrecarga de filas (gerenciamento de fila), seleção de rota, etc.

O grupo de trabalho DiffServ deverá padronizar alguns PHBs globalmente aplicáveis, e deixará os demais para uso experimental. Se os experimentos indicarem que um certo PHB não padronizado é claramente útil, ele pode ser padronizado posteriormente.

É de responsabilidade das ISPs decidir que serviços fornecer. Os seguintes serviços poderiam ser fornecidos:

- *Serviço Premium*, para aplicações requerendo serviço de pequeno atraso e pequena variação de atraso. Neste caso, o usuário negocia com seu ISP a máxima largura de banda para enviar pacotes através da rede e as alocações são feitas em termos de taxa de pico. Uma desvantagem é o fraco suporte a tráfegos em rajada e o fato de que o usuário paga mesmo quando não usa completamente a largura de banda.

- *Serviço Assegurado*, para aplicações requerendo melhor confiabilidade que Serviço Melhor Esforço. Este serviço não garante a largura de banda como o Serviço Premium, mas fornece uma alta probabilidade de que o ISP transfere os pacotes marcados com alta prioridade confiavelmente. Ele não foi completamente definido, devendo oferecer um serviço equiparável ao Serviço de Carga Controlada do IntServ;
- *Serviço Olympic*, que fornece três tipos de serviços: Ouro, Prata e Bronze, que reduz em qualidade.

Serviços Diferenciados são significativamente diferentes de Serviços Integrados:

- Primeiro, há apenas um número limitado de classes de serviço indicado no campo DS. Desde que o serviço é alocado na granularidade de uma classe, o conjunto de informações de estado é proporcional apenas ao número de classes e não proporcional ao número de fluxos. Serviços Diferenciados são portanto mais escaláveis do que Serviços Integrados.
- Segundo, as operações de classificação, marcação, policiamento e controle são apenas necessárias nas fronteiras das redes. Roteadores ISP internos necessitam apenas implementar a classificação Comportamento Agregado (*BA - Behavior Aggregate*), que é uma classificação baseada apenas no byte DS. Portanto, Serviços Diferenciados são mais fáceis de implementar e usar.

No modelo Serviços Diferenciados, um serviço assegurado pode ser fornecido por um sistema que suporta parcialmente os Serviços Diferenciados. Roteadores que não suportam Serviços Diferenciados simplesmente ignoram os campos DS dos pacotes e fornecem a pacotes Serviço Assegurado o Serviço Melhor Esforço. Desde que pacotes Serviço Assegurado têm menos probabilidade de serem perdidos em roteadores compatíveis com DS, o desempenho total do tráfego serviço assegurado será melhor que o tráfego Melhor Esforço.

4.3.3. MPLS (Multi Protocol Label Switching)

O MPLS significa Comutação de Etiqueta "Multiprotocolo". Multiprotocolo porque suas técnicas são aplicáveis para qualquer protocolo da camada da rede. Entretanto, é focalizado aqui o uso do IP como o protocolo da camada da rede. Um

roteador que suporta o MPLS é conhecido como "Roteador de Comutação de Etiqueta" ou LSR.

Um determinado pacote de um protocolo sem conexão da camada de rede viaja de um roteador para outro, cada roteador toma uma decisão de retransmissão independente para cada pacote. Neste caso, cada roteador analisa o cabeçalho do pacote, e executa um algoritmo de roteamento na camada de rede (baseado na análise dos cabeçalhos dos pacotes e dos resultados do algoritmo de roteamento).

Os cabeçalhos dos pacotes contêm consideravelmente mais informações do que é necessário para escolher o próximo nó na rede. A escolha do próximo nó, entretanto, pode ser analisada e composta por duas funções. A primeira função classifica todo o conjunto de possíveis pacotes em um conjunto de "Classes de Equivalência de Retransmissão (FECs)". O segundo identifica cada FEC para o próximo nó da rede. Diferentes pacotes mapeados em um mesmo FEC e que viajam em mesmo nó específico, seguiram o mesmo caminho (ou se algum tipo de roteamento multi-caminho está sendo usado, eles seguirão um caminho de um conjunto de caminhos associados com o FEC).

No MPLS, a atribuição de um pacote para um determinado FEC é feita uma vez, quando o pacote entra na rede. O FEC para o pacote é atribuído e codificado como um valor de tamanho fixo conhecido como "etiqueta" (*label*) no IPv4 campo Identification, e no IPv6 o campo Source Address. Quando um pacote é redirecionado para o próximo, nó a etiqueta é enviada juntamente com o pacote.

Nos nós subseqüentes, não há mais a análise do cabeçalho do pacote da camada de rede. A etiqueta é usada como um índice na tabela que especifica o próximo nó, e uma nova etiqueta é atribuída. A etiqueta antiga é trocada pela nova e o pacote é redirecionado para o próximo nó.

No paradigma de redirecionamento do MPLS, uma vez que é atribuído um FEC a um pacote, nenhuma análise adicional é feita pelos roteadores subseqüentes; todo redirecionamento é dirigido pelas etiquetas. Isto tem um número de vantagens sobre redirecionamento convencional da camada de rede. Por exemplo:

- O redirecionamento pelo MPLS pode ser feito por comutadores que são capazes de fazer pesquisa de etiquetas e recolocação, mas não são

capazes de analisar os cabeçalhos da camada da rede ou não são capazes de analisar os cabeçalhos da camada de rede com velocidade adequada.

- Desde que um pacote é atribuído para um FEC quando ele entra na rede, o roteador de entrada pode usar, na determinação da atribuição, qualquer informação que ele tem sobre o pacote, mesmo se a informação não pode ser obtida do cabeçalho da camada da rede. Por exemplo, pacotes que chegam em portas diferentes podem ser alocados para FECs diferentes. O redirecionamento convencional, por outro lado, pode considerar somente informações que viajam com o pacote no cabeçalho do pacote.
- Um pacote que entra na rede através de um roteador específico pode ser etiquetado diferentemente do mesmo pacote entrando através de outro roteador e, como resultado, decisões de redirecionamento que dependem do roteador de entrada podem ser facilmente feitas. Isto não pode ser feito com o redirecionamento convencional, já que a identidade do roteador de entrada de um pacote não viaja com o pacote.
- As considerações que determinam como é atribuído um FEC a um pacote podem tornar-se complicadas, sem qualquer impacto nos roteadores que dificilmente redirecionam pacotes etiquetados.
- Algumas vezes é interessante desejado forçar um pacote a seguir determinada rota que é explicitamente escolhida antes ou no momento que o pacote entra na rede, em vez de ser escolhido pelo algoritmo de roteamento dinâmico, quando viaja pela rede. Isto pode ser feito devido a política ou para suportar o tráfego. No redirecionamento convencional, isto requer que o pacote carregue uma codificação da rota junto dele ("source routing"). No MPLS, uma etiqueta pode ser usada para representar a rota, desta forma a identidade da rota explícita não precisa ser carregada com o pacote.

Alguns roteadores analisam o cabeçalho do pacote da camada da rede não somente para escolher o próximo nó do pacote, mas também para determinar a "prioridade" do pacote ou a "classe de serviço" determinando assim certos cuidados com a transmissão do pacote. Podendo aplicar diferentes procedimentos de descarte ou agendamento para diferentes pacotes. O MPLS permite (mas não requer) que a prioridade ou a classe de serviço seja deduzida totalmente ou parcialmente através da

etiqueta. Neste caso, deve ser dito que a etiqueta representa a combinação de um FEC e uma prioridade ou classe de serviço.

4.4. Conclusão

Como apresentado anteriormente, vimos que a qualidade de serviço (QoS) é interessante para aplicações multimídia e que o protocolo IP na versão 4 ou versão 6 não fornece uma interface ao usuário para prover a QoS. Existem propostas para suprir esta falta, como foi apresentado.

Uma tecnologia que fornece QoS é a ATM, que será detalhada no próximo capítulo.

5. ATM (Asynchronous Transfer Mode)

O modo de transmissão assíncrono (Asynchronous Transfer Mode) é uma tecnologia baseada na transmissão de pequenos pacotes de tamanho fixo denominados células. Estas células são transmitidas através de conexões de circuitos virtuais, sendo sua entrega e comutação feitas pela rede baseada na informação de seu cabeçalho. Esta tecnologia se adapta facilmente às exigências de uma grande gama de tráfegos, suportando com isto diferentes tipos de serviços. Com isto, a tecnologia ATM foi escolhida de forma a dar suporte à implantação da Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga RDSI-FL (Broadband Integrated Services Network - B-ISDN).

5.1. Modo de transferência síncrono versus assíncrono

Dados multimídia são geralmente transmitidos em rajadas, especialmente após a compactação. Portanto, se o usuário reservar uma largura de banda igual a seu pico de taxa de transmissão, parte da largura de banda é desperdiçada quando a taxa de bits não estiver no máximo. A melhor abordagem para uso eficiente da rede é o princípio de *largura de banda sob demanda* ou *multiplexação estatística*. Multiplexação, aqui, refere-se ao compartilhamento do meio de transmissão por várias conexões distintas (lógicas ou virtuais). Quando uma aplicação não usa toda a sua largura de banda, outra aplicação pode usar.

Uma técnica de multiplexação muito utilizada é a chamada *multiplexação por divisão de tempo* (TDM) em que o tempo de transmissão do meio é compartilhado entre várias conexões ativas. Na multiplexação síncrona, o tempo é dividido em quadros de tamanho fixo que por sua vez são divididos em intervalos de tamanho fixo ilustrado na Figura 9. Por exemplo, assumamos que todo quadro de transmissão é dividido em 10 intervalos e eles são numerados de 1 a 10. Se o intervalo 1 é atribuído a uma conexão, o emissor pode transmitir dados sob esta conexão apenas no intervalo 1. Caso ele tenha mais dados a transmitir após este intervalo, o transmissor deve aguardar o próximo quadro. Se ele não usa este intervalo temporal, nenhuma outra conexão pode utilizá-lo. Este tipo de multiplexação é chamada *multiplexação por divisão de tempo síncrona* (STDM).

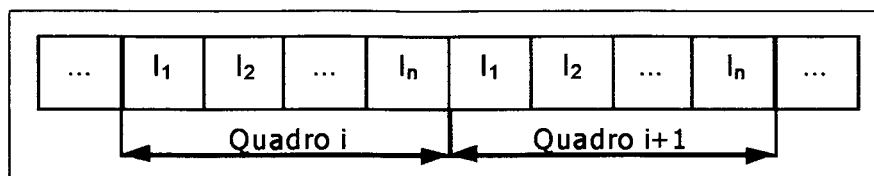


Figura 9. STDM: Multiplexação por divisão de tempo síncrona

A STDM é capaz de fornecer garantias de desempenho rígida (*hard*), mas não é apropriada pois a largura de banda de cada canal é fixado sem olhar seu uso.

Para muitas aplicações multimídia a garantia estatística é suficiente. *Multiplexação estatística*, compartilhamento da largura de banda baseada no princípio largura de banda sob demanda, pode suportar muitas aplicações dada a mesma largura de banda. Multiplexação estatística é uma técnica que multiplexa vários fluxos de dados independentes em um canal de alta largura de banda. Como as mídias contínuas são transmitidas em rajadas e geralmente são independentes, provavelmente enquanto alguns fluxos estarão em suas taxas baixas de transmissão, outros estarão transmitindo em suas taxas altas. Conseqüentemente a largura de banda agregada é menor que a soma dos picos de taxa de bits dos fluxos. Assim, multiplexação estatística usa a largura de banda eficientemente.

O modo de transferência assíncrono (ATM) tenta eliminar limitações encontradas no STM tais como a complexidade de gerência de mapeamento e alocação dos canais, e procura se beneficiar do ganho estatístico de serviços cujos tráfegos possuam taxa variável, não perdendo de vista, com isto, a necessidade de se manter um desempenho razoável para aqueles serviços que possuam taxa contínua.

No modo de transferência assíncrono, um canal é identificado pela posição fixa de seus intervalos dentro dos quadros. No ATM, a banda passante é dividida em segmentos fixos de informação denominados células. Cada célula possui um cabeçalho de informação a fim de que o receptor possa identificar a qual canal esta célula pertence e tomar as medidas cabíveis. Um canal não é mais identificado de maneira estática, por uma posição no tempo, mas sim de maneira dinâmica através das informações contidas nos cabeçalhos.

5.2. Células ATM

Uma célula ATM conforme ilustrado na Figura 10 consiste de:

- Cabeçalho (5 bytes): contendo as informações necessárias para o envio das informações entre a origem e o destino;
- Dados do usuário (48 bytes).

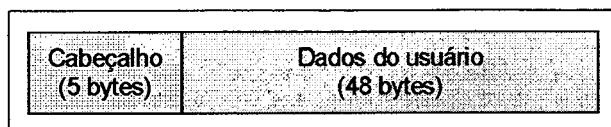


Figura 10. Célula ATM

Pode-se questionar o porquê do tamanho tão reduzido da célula ATM. Várias vantagens são obtidas com esta decisão. Quanto maior o tamanho da célula, maior o tempo de empacotamento, causando, desta maneira, maior atraso de transferência e afetando principalmente serviços sensíveis ao tempo de atraso, como vídeo e áudio. Para tais serviços, o alongamento do tempo de atraso provoca uma queda substancial da qualidade, ocasionando distorções e eco, por exemplo, para a transmissão de voz. Um argumento que poderia ser sugerido contra a utilização de células com tamanho tão reduzido seria o desperdício de banda com a sobrecarga (*overhead*) causada pelo cabeçalho. Deve-se lembrar que cerca de 10% da banda é desperdiçada com as informações contidas no cabeçalho.

5.3. Comutadores

Uma rede ATM é hierárquica conforme ilustrado na Figura 11. Os terminais (sistemas finais) são conectados a comutadores diretamente através de pontos de acesso. Um comutador é constituído por várias portas que se associam às linhas físicas da rede. Um comutador deve receber as células que chegam pelas portas de entrada e retransmiti-las através das portas de saída, mantendo a ordem original das células em cada conexão. É possível que terminais sejam ligados a uma LAN, que é conectada a uma rede ATM através de um ponto de acesso. A velocidade da ligação entre um ponto de acesso e um comutador é chamado de *velocidade de acesso* e é dedicada ao ponto de acesso. Comutadores agregam células vindas pelas ligações de entrada e retransmitem elas para outros comutadores ou terminais. A largura de banda entre comutadores é chamada de *largura de banda agregada*. Ela é normalmente maior que a velocidade de acesso, mas ela não precisa ser a soma das taxas de pico de todas as suas ligações de entrada. Isto é, o ATM usa multiplexação estatística.

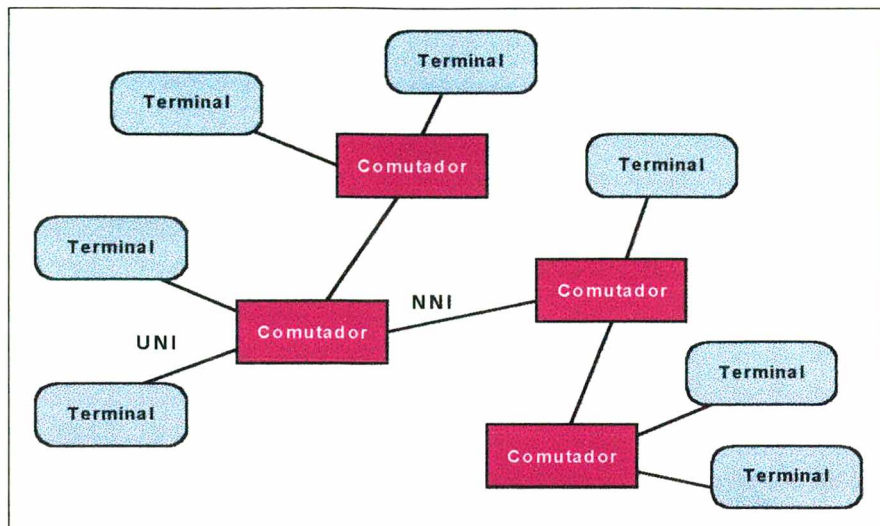


Figura 11. Visão ATM com interfaces UNI/NNI

A interface entre o usuário (terminal) e a rede é chamada *interface usuário-rede* (UNI - *User-Network Interface*). A interface entre os comutadores de rede é chamada *interface rede-rede* (NNI - *Network-Network Interface*).

5.4. Modelo de referência RDSI-FL

Não há como se falar de redes ATM sem se ater por alguns momentos a redes RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga). Na verdade a história e evolução das redes ATM, bem como a sua normalização através das recomendações do ITU-T, aconteceram dentro do contexto da evolução da RDSI-FL.

A definição do modelo de referência RDSI-FL segue a estrutura hierarquizada do modelo de referência OSI. A arquitetura RDSI-FL é ilustrada na Figura 12:

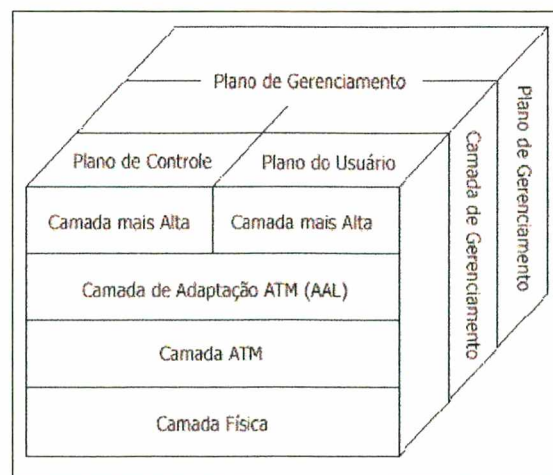


Figura 12. Modelo Referência (RDSI-FL)

O modelo utiliza o conceito de planos distintos a fim de separar funções de usuário, de controle e de gerenciamento, definidos pela recomendação I.321 do ITU-T. Constitui-se num formato tridimensional composto por:

- **Plano do usuário:** é responsável pelo transporte de informações do usuário e da transmissão dos dados dos usuários;
- **Plano de controle:** é responsável pelas informações de sinalização da rede, executando funções de controle, como manter e desativar conexões.
- **Plano de gerenciamento:** é responsável pela manutenção da rede e execução de funções operacionais, gerenciando os demais planos e a si próprio. O *plano de gerenciamento* divide-se conforme as entidades que se pretende gerenciar.

O *plano do usuário* e o *plano de controle* são compostos por quatro camadas conforme ilustrado na Figura 12:

- A *Camada mais Alta*, no plano do usuário é responsável pela produção e apresentação de vários tipos de dados, e no plano controle realiza serviços de controle;
- A *Camada de Adaptação ATM (ATM Adptation Layer)* assegura que os serviços tenham as características apropriadas para as aplicações e divide todos os tipos de dados em 48 bytes que formarão a célula ATM;
- A *Camada ATM* toma os dados a serem enviados e adiciona o cabeçalho da célula (5 bytes) que assegura que a célula seja enviada na conexão correta. Ela é uma camada de comutação e multiplexação independente da camada física;
- A *Camada Física (PHY)* define as características elétricas e interfaces de rede. É responsável pela transmissão de bits sobre o meio de transmissão.

As camadas de adaptação do ATM (AALs) existem apenas na fonte e no destino Figura 13. Diferentes AALs podem ser usadas para diferentes tipos de tráfego. Desde que uma célula esteja na rede, os 48 bytes de dados do usuário não são acessados. Os comutadores de rede rotearão a célula de acordo com as informações do cabeçalho.

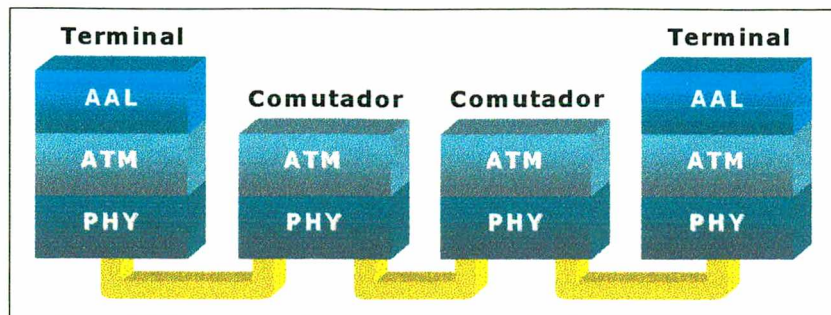


Figura 13. Arquitetura do ATM

5.5. Camada física

A camada física corresponde funcionalmente à camada física do modelo de referência OSI, apresentando as características relacionadas ao meio físico de transmissão.

A camada física define o mapeamento das células ATM no meio físico e os parâmetros da transmissão física. Ela é responsável pela transmissão dos bits sobre o meio de transmissão. É esta camada que determina a taxa de transmissão de bits. Taxas de bits de 155 Mbps e 622 Mbps foram inicialmente propostas para transmissão em fibra ótica, mas outras taxas de transmissão também foram definidas para outros meios de transmissão. A tabela abaixo apresenta os diversos tipos de meio físico especificados.

Taxa	Nome e sincronização de quadros	Definido por
622 Mbps	SDH, STM4/SONET STS-12 sob SMF	ITU
155 Mbps	SDH STM-1/SONET STS-3C sob SMF, MMF, STP, UTP-5	ITU/ATM Forum
155 Mbps	Baseado em célula sob MMF, STP, UTP-5	ATM Forum
100 Mbps	Baseado em célula sob MMF (TAXI)	ATM Forum
51 Mbps	UTP-3, MMF, SMF	ATM Forum
45 Mbps	G.804/T3	ATM Forum/ANSI
34 Mbps	G.804/E3	ATM Forum/ANSI
25.6 Mbps	STP, UTP-3, UTP-5	ATM Forum
2 Mbps	E1	ATM Forum/ETSI
15 Mbps	T1	ATM Forum/ANSI

SDH: Synchronous Digital Hierarchy (ITU)
 STM: Synchronous Transfer Module (ITU)
 SONET: Synchronous Optical Network (ANSI)
 SMF: Single-Mode Fiber
 MMF: Multi-mode Fiber
 TAXI: Transmitter/receiver interface- physical FDDI interface
 STP: Shielded Twisted Pair
 UTP: Unshielded Twisted Pair

5.6. Camada ATM

A função da camada ATM, especificada pela recomendação I.150, inclui: controle de fluxo, multiplexação/demultiplexação de células, tratamento dos cabeçalhos das células, roteamento das células baseados nas informações do cabeçalho.

A camada ATM faz todo o seu processamento a partir da geração e inspeção dos campos de cabeçalho da célula ATM. As informações sobre o formato das células, bem como a comutação das mesmas estão contidas na recomendação I.361.

5.6.1. Formato da célula ATM

Como já mencionado, as células ATM têm o tamanho de 53 bytes. Os primeiros 5 bytes formam o cabeçalho, que é usado pelos comutadores para rotear a célula. Os demais 48 bytes contêm dados do usuário, que é formatado em um dos formatos da camada de adaptação (AAL).

O cabeçalho da célula ATM tem dois formatos:

- Células transmitidas entre terminais e comutadores (na interface UNI);
- Células transmitidas entre comutadores (na interface NNI).

O cabeçalho da célula ATM na NNI ilustrado na Figura 14 tem cinco campos:

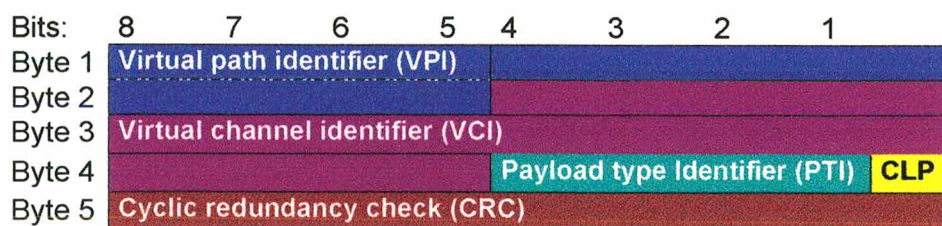


Figura 14. Cabeçalho da célula no NNI

- **Virtual Path Identifier (VPI) e Virtual Channel Identifier (VCI):** VPI ocupa 12 bits e VCI ocupa 16 bits. Uma conexão ATM é unicamente identificada por um endereço de 28 bits formado pela combinação de VPI e VCI;
- **Payload Type Identifier:** este campo de 3 bits indica se os dados contidos na célula são dados do usuário ou operação de rede, administração, e dado de gerência (OAM). Quando o primeiro bit do campo é 1, então a célula é uma célula OAM, senão ela contém dados do usuário;

- **Cell Loss Priority (CLP):** este campo de 1 bit indica a prioridade da célula. Quando ele é configurado com (1), a célula é de baixa prioridade. Caso o comutador tenha que descartar algumas células devido ao preenchimento completo do buffer, células de baixa prioridade serão descartadas. Este campo é utilizado para dar prioridade a certos tipos de informação ou evitar usuários abusivos. Nesta última aplicação deste campo, caso o terminal transmitir a uma taxa de bits maior que a taxa estabelecida durante a conexão, a rede marcará as células extras como não prioritárias. Caso haja congestionamento na rede, estas células serão descartadas primeiro, protegendo a qualidade de serviço das outras conexões;
- **Header CRC:** este campo é usado para permitir a detecção de erro e correção para o cabeçalho. Como o cabeçalho pode ser alterado em cada hop, o CRC deve ser checado e recalculado a cada hop na rede ATM. Como é esperado que ATM execute sob um meio de transmissão confiável, a ocorrência de erros deve ser rara. Devido a isto, nenhuma detecção de erro nos dados é provida pela camada ATM.

O cabeçalho de célula ATM na UNI é ligeiramente diferente do cabeçalho na NMI. Os campos que diferem, ilustrado na Figura 15, são a adição do campo GFC e a redução do campo VPI para 8 bits. O campo GFC é adicionado para reconhecer que o terminal ATM pode ser conectado a redes de acesso compartilhado tal como DQDB, que é conectada a redes ATM. Para este tipo de terminal, o método de multiplexação deve ser negociado entre eles. GFC é usado para indicar as prioridades de células destes terminais para acessar a rede ATM. Este campo não é inteiramente definido e sendo normalmente setado a 0.

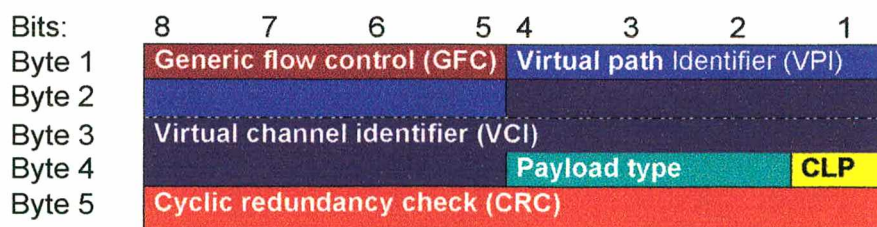


Figura 15. Cabeçalho da célula no UNI

5.6.2. Estrutura de comutação

Células em uma rede ATM são transportadas através de conexões Figura 16. Uma conexão fim a fim em redes ATM é conhecida como conexão com o canal virtual (VCC - Virtual Channel Connection) [Tanenbaum, 96]. O conceito de conexão com canal

virtual é semelhante ao conceito tradicional de conexão com circuito virtual. Uma conexão com canal virtual (VCC) é formada pela concatenação de conexões virtuais estabelecidas nos vários enlaces da rede, da origem até o destino, formando um caminho único através do qual as células são encaminhadas. Cada conexão virtual em um enlace é denominada de Canal Virtual (VC - Virtual Channel) [Tanenbaum, 96].

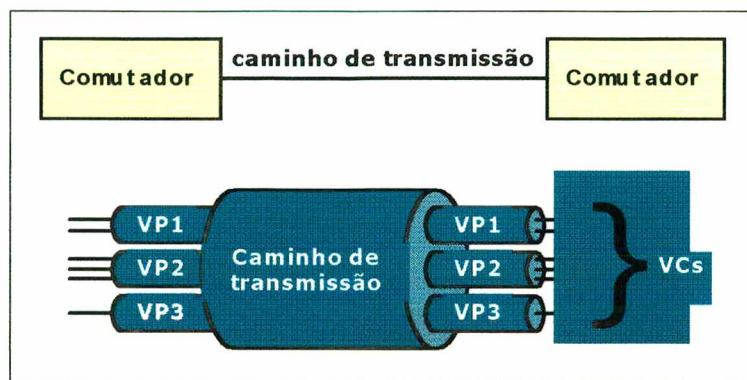


Figura 16. Conexão com canal virtual

Para que cada célula possa ser encaminhada até o destino é necessário que o comutador saiba encaminhar as células através do canal virtual estabelecido. Os pacotes chegam a um comutador através de um canal virtual (VC) e devem ser encaminhados a um outro comutador (ou entregues ao destino) através de outro canal virtual (VC). Em cada comutador, a próxima conexão de um caminho está relacionada a uma de suas portas. Deve-se observar que uma determinada linha de transmissão, e por conseguinte, uma porta qualquer de um comutador pode fazer parte de vários caminhos de conexão com os canais virtuais diferentes. Em outras palavras, existirão em cada enlace da rede diversos VCs correspondendo a diferentes conexões.

Os campos VCI e VPI do cabeçalho da célula são responsáveis pela identificação de qual VC a célula pertence. Quando uma célula chega em um comutador ATM, os campos VCI e VPI identificam o VC utilizado pelo comutador anterior do caminho estabelecido pela VCC. De posse desta informação de entrada, o comutador consulta uma tabela que relaciona cada VC com o VC seguinte e a porta de saída a ser utilizada para a retransmissão da célula.

5.7. AAL (ATM Adaptation Layer)

O nível de adaptação ATM (*ATM Adaptation Layer* - AAL) dentro da arquitetura ATM está inserido entre o nível de rede ATM e a camada de aplicação acima, tanto no

plano de usuário como o plano de controle. A função principal do nível AAL é a de prover uma complementação em termos de funções específicas aos serviços que não podem ser fornecidos pelo nível ATM. A principal razão de não fornecer estas funções no nível ATM é a de que nem todas as aplicações necessitam destas funções, complicando assim desnecessariamente o nível ATM. De modo geral, podemos citar as seguintes funções :

- Segmentação e remontagem em células e multiplexação;
- Adaptação do Serviço de Usuário ao Modo de Transporte ATM;
- Tornar o nível de rede ATM transparente à aplicação do usuário;

Foram definidos vários AALs. E como ponto de partida, o ITU-T definiu grupos de aplicações, com requisitos semelhantes, baseados em três critérios:

- Relação de tempo entre fonte e destino, que pode ser uma exigência ou não;
- Taxa de bit, constante ou variável;
- Modo de conexão; serviços orientados a conexão ou não.

No quadro abaixo, são apresentadas as classes **definidas pelo ITU-T**:

Características	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Taxa de bits	Constante	Variável		
Temporização origem /destino	Requerida		Não requerida	
Tipo de Transporte	Orientado a Conexão			Não orientado a conexão
Protocolo AAL	AAL-1	AAL-2	AAL-3/4 ou AAL-5	AAL-5
Aplicações Típicas	Voz ou Vídeo com taxa constante	Vídeo com taxa variável	Dados, Frame Relay, X.25	Dados TCP/IP, SMDS

- **Classe A:** conforme quadro acima, corresponde ao serviço CBR orientado a conexão, com vinculação de tempo entre fonte e destino. Os dois serviços principais desta classe são o serviço de voz de 64 kbit/s e o vídeo CBR;
- **Classe B:** conforme quadro acima, corresponde ao serviço VBR orientado a conexão com vinculação de tempo entre fonte e destino. É um exemplo típico, serviço de vídeo VBR codificado (MPEG II);
- **Classe C:** conforme quadro acima, corresponde aos serviços VBR orientados a conexão que não têm vinculação temporal. Um exemplo típico deste serviço é a transferência de dados orientado a conexão;

- **Classe D:** conforme quadro acima, corresponde aos serviços VBR não orientados a conexão e sem vinculação temporal entre fonte e destino. Como exemplo, pode-se citar a interconexão de LANs sobre uma WAN o serviço datagrama.

Inicialmente a ITU-T definiu 4 AALs: AAL-1, AAL-2, AAL-3 e AAL-4. Os níveis AAL-3 e AAL-4, devido a suas semelhanças, foram redefinidos em um único nível conhecido como AAL-3/4. Para atender às exigências, principalmente dos fabricantes de equipamentos ATM que queriam um nível mais simplificado, o ATM Forum definiu a AAL-5. A seguir, serão apresentados os níveis AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5 e AAL-6 cujas especificações se encontram nas recomendações I.363.1, I.363.3, e I.363.5, respectivamente.

5.7.1. AAL - 1 (ATM Adaptation Layer nível 1)

Fornece o serviço classe A e emprega funções de empacotamento / desempacotamento para converter fluxos a taxa constante de bits em células no emissor e montar as células em fluxos a taxa constante de bits no receptor. Um fluxo de bit inteiramente sincronizado é transferido ao receptor, requerendo pequeno atraso e controle de variação de atraso na rede.

5.7.2. AAL - 2 (ATM Adaptation Layer nível 2)

Fornece o serviço classe B. Devido a taxa de bits variável, é difícil reservar recursos para esta espécie de tráfego e assim é difícil implementar a AAL-2. Ou o pico da largura de banda é reservada - não muito eficiente - ou garantias de atraso e perdas não podem ser dadas. Atualmente, a ITU está definindo uma primeira versão da AAL-2 com um foco ligeiramente diferente. Ela é voltada particularmente a agregação de vários fluxos de voz compactados a taxa variável em um circuito virtual ATM, que é um serviço classe B importante para redes de longa distância.

5.7.3. AAL - 3/4 (ATM Adaptation Layer nível 3 e 4)

Implementa os serviços classes C e D. Como ATM é inerentemente orientada a conexão, serviços sem conexão necessitam ser providos por servidores sem conexão (CLS - Connection-Less Servers), que são acessados por comunicação orientada a conexão. Assim, não é necessário distinguir serviços classes C e D a este nível. Este fato

foi apenas descoberto durante o processo de padronização, e assim os tipos 3 e 4 anteriores são agora juntados em uma AAL-3/4 comum. A principal função da AAL-3/4 é segmentação e remontagem de mensagens em células, e vice-versa. Além disso, AAL-3/4 fornece um campo identificador de mensagem (MID), permitindo um transporte intercalado de diferentes mensagens sob o mesmo VC (Virtual Channel). Esta característica é útil no contexto de serviços multicast ou sem conexão. Isto permite ao servidor retransmitir células individuais de uma mensagem sem remontagem no servidor.

5.7.4. AAL - 5 (ATM Adaptation Layer nível 5)

Fornecer os serviços classes C e D (como proposto por construtores de computadores no ATM Forum). Ela é mais simples e mais eficiente que AAL-3/4. Conseqüentemente, AAL-5 fornece uma melhor utilização da largura de banda disponível. Cada célula de 53 bytes da AAL-3/4 tem 5 bytes de cabeçalho e 4 bytes adicionais de sobrecarga de segmentação. Na AAL-5, a sobrecarga de segmentação de 4 bytes por célula pode ser reduzida a 6 bytes por mensagem, e não por célula (campo de tamanho de 2 bytes, mais CRC de 4 bytes). A desvantagem é que uma célula corrompida sempre provocará o descarte da mensagem na AAL-5 e a AAL-3/4 fornece meios para localizar erros de bits em células individuais. Esta característica é interessante no contexto da comunicação multimídia, desde que alguns fluxos multimídia possam ser capazes de usar mensagens parcialmente corretas.

Atualmente, a tendência é de cada vez mais usar AAL-1 para interligação com ISDN e outros serviços síncronos, e AAL-5 para quase todo o resto. Na perspectiva multimídia, a vantagem da AAL-3/4 é limitada. O mecanismo de manipulação de erro da AAL-3/4 é útil, mas a capacidade de multiplexação tem pouco valor, assumindo a disponibilidade de VCI's a um número suficiente em primeiro lugar. Assim, eficiência e disponibilidade são provavelmente mais importantes que funções incrementadas. Embora inicialmente não antecipada pela ITU, há uma demanda do uso da AAL-3/4 e AAL-5 em serviços a atraso limitado a fim de suportar tráfego multimídia interativo em pacotes.

5.7.5. AAL - 6 (ATM Adaptation Layer nível 6)

Atualmente a AAL-6 está em estágio de discussão. O ATM Forum está investigando uma AAL adaptada ao empacotamento de fluxos de dados multimídia, em particular para vídeo MPEG e MPEG-II. Discussões incluem o uso de técnicas FEC (*forward error-detection*) para aumentar a confiabilidade na comunicação ao nível onde

nenhum recobrimento de erro extra é necessário e para suportar requisitos de sincronização MPEG.

5.8. Qualidade de serviço

Os parâmetros de qualidade de serviço são negociados na fase de estabelecimento de uma conexão, muito embora os procedimentos de sinalização permitam que a negociação possa ser feita depois do estabelecimento.

5.8.1. Contrato de serviço

O tipo de serviço a ser fornecido pela conexão é estabelecido através de um contrato que inclui um descritor da conexão, que informa as características do tráfego gerado e uma especificação de QoS para cada sentido. Abaixo é mostrado uma tabela com os parâmetros de descrição de tráfego e de QoS que podem ou não ser negociados no momento que é estabelecida a conexão.

Tipo	Sigla	Parâmetro	Significado
Tráfego	PCR	Peak Cell Rate	Taxa de pico de transmissão
	SCR	Sustained Cell Rate	Taxa média de transmissão a longo prazo
	MCR	Minimum Cell Rate	Taxa mínima aceitável de transmissão
	MBS	Maximum Burst Size	Tamanho máximo da rajada
	CDVT	Cell Delay Variance Tolerance	Máximo de atraso aceitável
QoS Negociáveis	CDV	Cell Delay Variation	Varição no tempo de entrega das células
	CTD	Cell Transfer Delay	Tempo de entrega (média e máximo)
	CLR	Cell Loss Ratio	Fração de células perdidas, entregues com atraso
QoS Não-Negociáveis	CER	Cell Error Ratio	Fração de células com erro
	SECBR	Severely-Errored Cell Block Ratio	Fração de blocos com erro
	CMR	Cell Misinsertion Ratio	Fração de células entregues no-destino errado

5.8.2. TD (Traffic Descriptor)

Exigências como alta vazão e atraso mínimo, trazem como consequência a necessidade de mecanismos eficientes de controle de tráfego em redes ATM. Este controle baseia-se no *descritor de tráfego de conexão*. O descritor de tráfego constitui um conjunto mínimo de parâmetros definidos pelo usuário no sentido de fornecer ao gerenciamento da rede as informações que permitam um controle eficiente do tráfego e um alto desempenho na utilização dos recursos (*banda e buffers*) da rede.

O *descritor de tráfego da fonte* é um conjunto de parâmetros utilizados durante a fase de estabelecimento da conexão para especificar as características de tráfego da conexão requisitada pela origem. Deve ser feita uma distinção entre as fontes de informação que possuem condições de controlar seu fluxo enquanto durar a conexão e

as que não têm este recurso. O controle é feito através do *traffic shaping*, a nível de usuário, e é opcional. O *traffic shaping* é feito com base no descritor de tráfego da fonte e permite adaptar o fluxo de informação a uma determinada categoria de serviço. O *traffic shaping* deverá dar condições para que o contrato de tráfego que é estabelecido entre usuário e a rede possa atender às necessidades de ambos.

Sob o ponto de vista de controle dos parâmetros de tráfego existem duas categorias: os Parâmetros Estáticos ou NCTP (*Non Controlable Traffic Parameters*) e Parâmetros Dinâmicos CTP (*Controlled Traffic Parameters*):

- **Parâmetros Estáticos:** são as categorias de serviço CBR (*Constant Bit Rate*) e VBR (*Variable Bit Rate*) do ATM Forum. Estes parâmetros de tráfego são definidos no momento da conexão e não são alterados, a não ser no caso de uma renegociação.
- **Parâmetros dinâmicos:** são as categorias de serviço ABR (*Available Bit Rate*) e UBR (*Unspecified Bit Rate*) do ATM Forum, onde os parâmetros de tráfego são modificados dinamicamente durante a duração da conexão.

5.8.3. Categorias de serviço definidas pelo ATM Forum

As categorias de serviço definidas pela recomendação I.137 do ATM Forum, são as seguintes: CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR e UBR, como mostrado na tabela abaixo.

SERVIÇO →	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
PARÂMETRO ↓	Constant Bit Rate	real-time Variable Bit Rate	non-real-time Variable Bit Rate	Available Bit Rate	Unspecifie d Bit Rate
CLR Cell Loss Ratio	ESPECIFICADO				NÃO ESPECIFICADO
CTD Cell Transfer Delay	ESPECIFICADO			NÃO ESPECIFICADO	
CDV Cell Delay Variation	ESPECIFICADO		NÃO ESPECIFICADO		
TD Traffic Descriptor	PCR/CDVT	PCR/CDVT/SCR/BT		PCR/CDVT MCR/ACR	PCR/CDVT

5.8.3.1. CBR (Constant Bit Rate)

Os serviços da categoria CBR são para aplicações em tempo real com exigências rígidas em relação aos parâmetros de QoS, CLR (*Cell Loss Ratio - Taxa de Atraso da Célula*), CDV (*Cell Delay Variation - Variação de Atraso da Célula*) e CTD (*Cell Transfer Delay - Atraso na Transferência da Célula*). O tráfego CBR é definido por um PCR (*Peak Cell Rate*) que corresponde a uma disponibilidade constante de uma

determinada largura de banda e por um CDVT (*Cell Delay Variation Tolerance - Tolerância na Variação de Atraso da Célula*). O parâmetro CDVT define um CDV máximo para um determinado fluxo de células pela interface UNI, não podendo ser rejeitado pelo mecanismo UPC (*User Parameter Control*) da rede.

5.8.3.2. VBR (Variable Bit Rate)

A categoria de serviços do tipo VBR é parecida com os serviços da categoria CBR, exceto pelo fato de que o descritor de tráfego é definido por um SCR (*Sustainable Cell Rate - Taxa de Célula Sustentável*) e BT (*Burst Tolerance - Tolerância de Estouro*), além do PCR e CDTV. A categoria VBR é subdividida em:

- **real-time Variable Bit Rate (rt-VBR):** o tráfego a taxa de bits variável para fluxos de dados de áudio e vídeo compactados com características de tempo-real (CDV especificado).
- **non-real-time Variable Bit-Rate (nrt-VBR):** o tráfego a taxa de bits variável para fluxos de dados de áudio e vídeo compactados com características de tempo-real (CDV não especificado).

A definição de parâmetros com limites em algum processos de geração de células, permite à rede reservar, em média, uma largura de banda menor que a taxa de célula de pico. Isto se deve a multiplexação estatística das conexões VBR. O nrt-VBR difere do rt-VBR unicamente por omitir a exigência referente ao CDV.

5.8.3.3. ABR (Available Bit Rate)

A categoria ABR tem despertado grande interesse por parte dos usuários e do próprio ATM Forum pelo fato de que se espera, em um futuro próximo, a integração de serviços multimídia em tempo real pela Internet. O objetivo é atender de forma eficiente os fluxos de dados de taxa variáveis, sem um compromisso maior com o CDV, principalmente que atendam os protocolos TCP/IP em interligações Internet/Intranet e LANs em altas taxas.

5.8.3.4. UBR (Unspecified Bit Rate)

A categoria UBR se aplica a conexões sem a definição de parâmetros de tráfego e sem garantia de QoS. O suporte UBR foi definido para tráfego de dados com

comportamento imprevisível em relação a rajadas, como por exemplo em redes locais e TCP/IP. O serviço UBR é simples no sentido de que o usuário negocia somente o PCR (Peak Cell Rate) quando é requisitada uma conexão. Uma vez aceita a conexão, o usuário pode enviar rajadas de células, de qualquer tipo e a qualquer hora, o que pode acarretar que o tráfego total na entrada de um *comutador* exceda a sua capacidade de saída, provocando estouro de *buffers* e, portanto, perda de células. A rede tentará minimizar os atrasos e perdas mas não oferece nenhuma garantia. Este serviço prevê que o usuário deverá implementar controles reativos em protocolos de níveis superiores, como por exemplo no protocolo TCP (nível de transporte), de modo a adequar a entrada da aplicação a uma condição de melhor esforço de desempenho da rede. A principal aplicação de UBR atualmente é como suporte para Internet.

5.8.4. Contrato de tráfego

Durante a fase de estabelecimento de uma conexão ATM, é negociado um contrato de tráfego com o usuário, baseado em 4 pontos críticos para a rede [ITU, 96-1]:

- Categoria de serviço a ser utilizado;
- Parâmetros de tráfego (descriptor de tráfego);
- Os parâmetros de QoS específicos do serviço desejado;
- Descarte ou controle de prioridade de descarte via CLP (Cell Loss Priority).

Informados os parâmetros de tráfego e os requisitados, a rede deverá decidir se aceita ou não a conexão solicitada, sem perda de QoS para as conexões existentes. Esta é a função do CAC (*Connection Admission Control*).

Uma vez aceita a conexão pelo CAC, a rede deve verificar se o usuário de fato segue as condições do contrato de tráfego. A verificação dos parâmetros de tráfego é feita no momento do ingresso das células pela interface UNI. No caso de parâmetros QoS, esta conformação é facilmente verificada através de algoritmos que fazem parte dos mecanismos de policiamento. As regras de conformidade não só dependem dos parâmetros de tráfego negociados mas também do tipo de serviço negociado.

O contrato de tráfego deve estabelecer penalidades a serem impostas pela rede, se as condições de tráfego do contrato não forem obedecidas pelo usuário. Há duas condições que podem ser aplicadas sobre as células que forem detectadas pelos mecanismos de policiamento (UPC/NPC) como não conformes: ou as células são

simplesmente descartadas, ou são marcadas como de baixa prioridade através do bit de CLP com o valor 1.

5.9. IPOA (Internet Protocol Over ATM)

O protocolo IPOA (IP Over ATM) [Marshall, 95] trata do encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de Adaptação AAL-5. O IPOA é conhecido também como o protocolo "Clássico IP sobre ATM".

5.9.1. Encapsulamento IPOA

O documento RFC 1577 da IETF [IETF, 94] define o encapsulamento de pacotes IP, o mecanismo para mapear endereços IP em endereços ATM e os parâmetros para se avaliar a necessidade de iniciar ou terminar uma conexão virtual entre sistemas.

Os pacotes IP são transportados por PDUs (Protocol Data Units) do protocolo AAL-5 da camada de Adaptação ATM. A Figura 17 apresenta uma PDU AAL-5 contendo na primeira célula um cabeçalho LLC/SNAP (Logical Link Control/Subnetwork Access Protocol) para identificar o protocolo, um campo para os dados e, por último, um trailer com informações sobre comprimento e CRC (Cyclic Redundancy Check). O tamanho típico do pacote IP Over ATM é 9180 octetos, o que é suficiente para os pacotes padrão Ethernet, Token Ring, FDDI e SMDS (Switched Multimegabit Data Service) sem fragmentação.

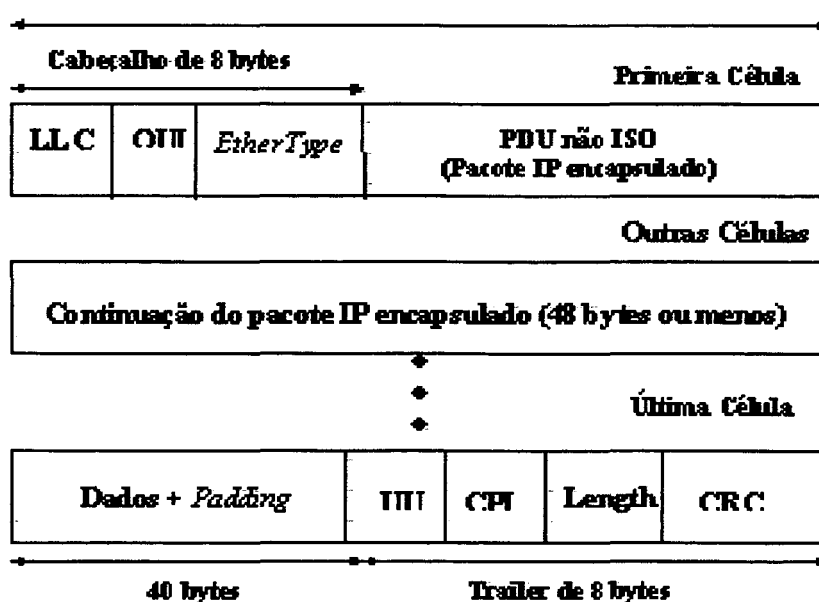


Figura 17. Formato da PDU-AAL-5 no IPOA

5.9.2. Arquitetura IPOA

O serviço ATM de canais virtuais comutados SVC (Switched Virtual Channel) e as estações finais deverão fazer o mapeamento de endereço IP para endereço ATM e estabelecer conexões virtuais automaticamente. Isto é feito usando um elemento adicional, o protocolo de resolução de endereços ATM (ATM Address Resolution Protocol - ATMARP).

A Figura 18 ilustra o IPOA. O servidor ATMARP (ATM Address Resolution Protocol) possibilita que cada estação de uma subrede IP (LIS) possa fazer pesquisas para encontrar o endereço ATM a ser usado a fim de que o pacote seja entregue a um destino IP. O protocolo ATMARP desempenha o mesmo papel que o protocolo ARP (Address Resolution Protocol) realizado em redes LANs já existentes. O servidor ATMARP mantém automaticamente em cada LIS (subrede IP) um banco de dados com o objetivo de mapear endereços IP para ATM. O servidor ATMARP é um módulo de software que pode ser implantado em um servidor de arquivos ou em uma estação de trabalho, além de poder ser implementado em roteadores ou computadores ATM na rede.

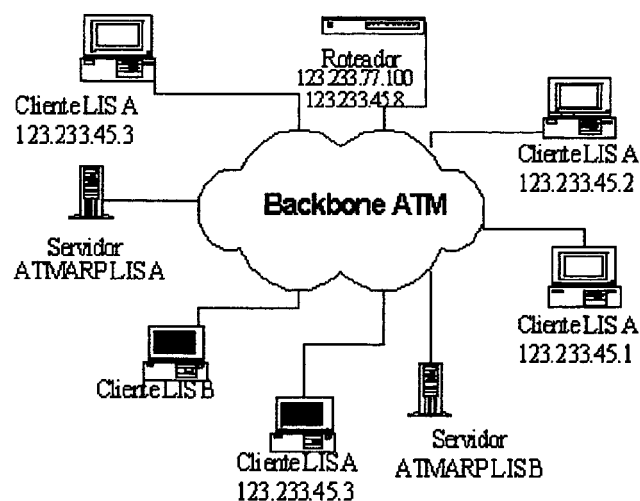


Figura 18. Funcionamento do IPOA

Na rede ATM com serviço SVC (Switched Virtual Channel), cada estação em uma subrede IP (LIS) inicialmente conecta-se ao servidor ATMARP (ATM Address Resolution Protocol) para registrar-se. A especificação do Clássico IP sobre ATM não aborda como uma estação de trabalho encontra o endereço de um servidor ATMARP. O servidor ATMARP, por sua vez, ao aceitar o registro, envia uma mensagem para obter o endereço IP da estação de trabalho. O servidor ATMARP mantém os endereços

recebidos em uma tabela local para que possa responder a outras possíveis estações da rede. Com o objetivo de manter informações atualizadas de endereço e para minimizar o tamanho da tabela, o servidor ATMARP descarta os endereços que não são solicitados em um intervalo de tempo determinado. Uma estação pode manter permanentemente a conexão com o servidor ATMARP ou, periodicamente, refazer a conexão com o objetivo de atualizar a tabela de endereços.

O IPOA não requer nenhuma alteração na infra-estrutura tradicional de roteamento IP já existente. O roteamento pode ser feito da mesma forma que o tradicional: os pacotes são enviados do remetente para um roteador e deste para outros possíveis roteadores até que o destino seja alcançado. Ao longo do caminho, o cabeçalho IP e de outros protocolos de camadas superiores, além dos dados, permanecem inalterados, exceto nos casos em que são acrescentados campos de controle ou que ocorram possíveis fragmentações de pacotes IP em datagramas IP ainda menores.

Em cada subrede IP (LIS), o sistema integrado LAN/ATM comunica-se via conexão virtual ATM ponto-a-ponto. Os pacotes IP são encapsulados em PDUs AAL-5. As células ATM nas PDUs são enviadas de comutadores para comutadores através da rede ATM, para que sejam remontadas em pacotes IP no destino.

5.9.3. Divisão em subredes ATM

As subredes IP atualmente estão associadas à estrutura física da rede. A subrede, no nível mais baixo, é geralmente um segmento LAN, provavelmente atingida por intermédio de uma ponte ou comutador. As subredes LAN caracterizam-se por despachar tanto pacotes broadcast como unicast ao longo da rede. As subredes LANs são implantadas geograficamente de acordo com os limites impostos pelo meio de transmissão e pelo protocolo.

Uma rede ATM consiste de circuitos virtuais ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Os circuitos virtuais não têm nenhuma limitação de distância inerente a localidade física de dois dispositivos não impedindo que os mesmos venham a se comunicar diretamente. Portanto, tem-se que as subredes IP em ATM são baseadas em parâmetros lógicos e não físicos. A estrutura de rede ponto-a-ponto também possibilita que uma estação ATM possa se comunicar com duas ou mais estações sem a necessidade de preocupação com o tráfego de outras estações.

5.9.4. Estabelecimento de conexão

Na Figura 19, é ilustrado o estabelecimento de uma conexão ATM com IPOA. Quando o cliente 1 na subrede LIS deseja enviar dados para um cliente 2 na mesma LIS, o primeiro pacote IP enviado pelo cliente 1 dispara um pedido ao servidor ATMARP. Um módulo IP/ATM presente no cliente 1 envia um pedido ATMARP ao servidor ATMARP, que terá o objetivo de verificar qual o endereço ATM correspondente ao endereço IP inicialmente fornecido referente ao cliente 2. O servidor ATMARP envia ao cliente 1 o endereço ATM desejado. O cliente 1 usa o endereço ATM obtido para estabelecer um SVC diretamente para o cliente 2. Quando o cliente 2 for retornar um pacote IP para o cliente 1, o mesmo também disparará uma requisição para o servidor ATMARP com o objetivo de obter o endereço ATM do cliente 1. Ao receber este endereço, o cliente 2 verificará que já possui uma conexão com o endereço ATM obtido, sendo desnecessário uma nova conexão. O fato de ambos os clientes da subrede LIS A estarem cientes da conexão e dos endereços, possibilita uma comunicação direta através do serviço SVC, sem a necessidade de mais envolvimento do servidor ATMARP.

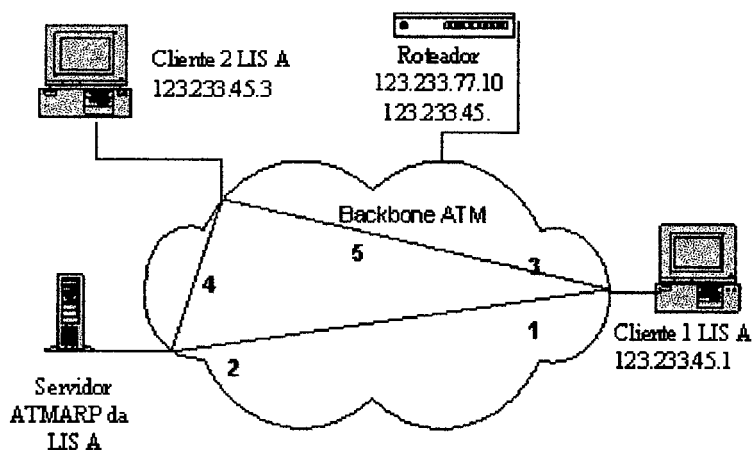


Figura 19. Exemplo de estabelecimento de conexão em IPOA

Uma estação pode ter mais de um circuito virtual ativo simultaneamente. Um servidor de arquivos tem centenas de conexões em um pequeno intervalo de tempo, dependendo do número de clientes que o sistema possui. As conexões que permanecem inativas por determinado período de tempo são automaticamente desfeitas com o objetivo de liberar o adaptador de rede e tornar disponível os recursos da rede ATM.

5.9.5. QoS no IPOA

Não existe interface para prover qualidade de serviço (QoS) para as aplicações que rodam no IPOA. Embora o IPOA utilize a categoria de serviços UBR que se aplica a conexões sem a definição de parâmetros de tráfego e sem garantia de QoS.

O estabelecimento de uma conexão ATM, seguindo o conceito do Clássico IP sobre ATM, significa que uma única conexão virtual (VC) de melhor esforço compartilhada é estabelecida para diversos fluxos entre qualquer par ATM com sistemas IP. Um único VC é estabelecido com parâmetros de qualidade de serviço (QoS) suportando o melhor serviço. Em algumas situações é desejável estabelecer e usar um VC dedicado para o fluxo, em especial para fluxos de dados com altos requerimentos de qualidade de serviço.

5.10. Serviço de emulação LAN (LAN Emulation)

LAN Emulation ou LANE [Yip, 96] é um padrão do ATM Forum que suporta pacotes de LAN convencionais (Ethernet e Token Ring) dentro de um ambiente ATM, permitindo que protocolos e aplicações LAN trabalhem transparentemente sobre ATM e que os equipamentos ligados à LAN possam se comunicar, inclusive com os dispositivos ATM.

Para manter compatibilidade com os protocolos de redes tradicionais (por exemplo: Ethernet/IEEE 802.3 e Token Ring/IEEE 802.5), optou-se por emular LANs na subcamada MAC, a fim de minimizar mudanças necessárias para a migração para ATM. A Figura 20 ilustra a arquitetura do serviço LANE [Yip, 96].

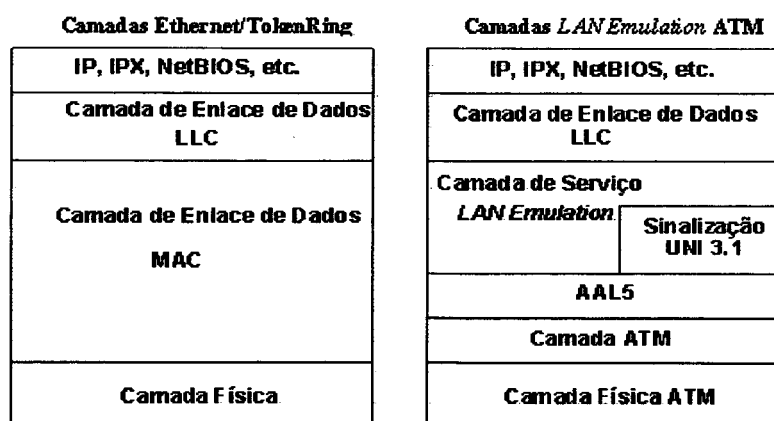


Figura 20. Arquitetura do cliente LAN Emulation

O subconjunto do serviço LANE, LAN emulada (ELAN), é definido como um grupo lógico de dispositivos capazes de trocar tipos de quadros similares dentro de um mesmo domínio. Muitas ELANs podem existir concorrentemente na mesma rede ATM, mas não podem se comunicar diretamente. Um roteador é requerido para a intercomunicação de ELANs [Anixter, 96-1].

5.10.1. Componentes LANE

Para oferecer os mesmos serviços para os protocolos tradicionais, o serviço LAN Emulation deve oferecer broadcast sem conexão e serviço de multicast baseado no padrão de endereços IEEE802 MAC. Como estes serviços não são nativos de redes ATM, eles são implementados através de um módulo cliente LAN Emulation Client (LEC) em cada host, de um servidor LAN Emulation Server (LES) que pode estar localizado em qualquer lugar na rede, de um servidor Broadcast and Unknown Server (BUS) e de um servidor LAN Emulation Configuration Server (LECS), conforme ilustrado na Figura 21 [Zeitnet, 96].

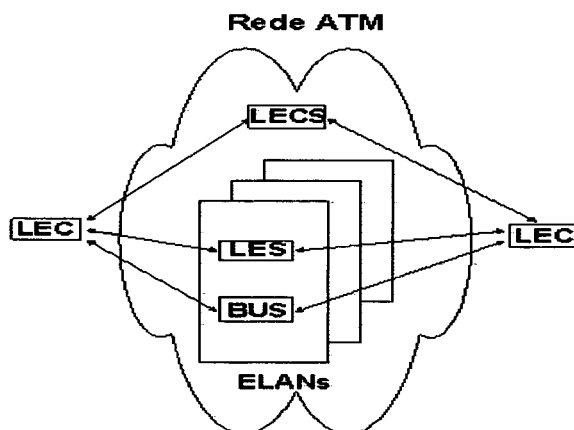


Figura 21. Modelo LAN Emulation do ATM Forum

5.10.1.1. LAN Emulation Server (LES)

O servidor LES é o servidor de resolução de endereços para a ELAN. Há um servidor lógico LES por ELAN. Quando um cliente LEC recebe um pacote para enviar, ele procura o endereço MAC de destino na sua tabela local. Se tem uma conexão ATM já associada com o endereço, ele envia o pacote por aquela conexão. Se ele sabe o endereço ATM para aquele endereço MAC, ele pode solicitar que uma conexão seja configurada para o destino. Se, contudo, o cliente LEC não tem a conexão ATM ou o endereço ATM, ele usa o protocolo ARP para obter esse endereço, enviando uma

mensagem LE_ARP (LAN Emulation Address Resolution Protocol) para o servidor LES perguntando qual o endereço ATM associado com aquele endereço MAC.

O servidor LES pode manter uma correspondência entre o endereço MAC e ATM. Por outro lado, se o servidor LES não sabe o endereço MAC, ele emite um broadcast com a solicitação LE_ARP para todos os clientes LECs usando a conexão Control Distribute VCC. Quando um cliente LEC recebe a solicitação LE_ARP, ele checa sua própria tabela de endereços local para ver se o endereço MAC solicitado é o seu próprio ou se ele está atuando como um proxy para o endereço MAC. Em caso afirmativo, ele envia uma resposta LE_ARP de volta para o servidor LES e este a direciona para o cliente LEC que enviou o pedido original LE_ARP.

5.10.1.2. LAN Emulation Configuration Server (LECS)

O servidor LECS mantém um banco de dados com informações de cada Lan emulada (ELAN). Quando um cliente LEC é inicializado, uma das suas primeiras ações é estabelecer uma conexão com o servidor LECS e depois enviar uma solicitação para sua configuração, que deverá retornar o endereço ATM do servidor LES que o cliente LEC deve contatar para se associar a uma ELAN. O banco de dados do servidor LECS é geralmente inicializado pelo administrador de rede e gerenciado via aplicações de gerenciamento SNMP. Há um servidor LECS lógico para cada LAN Emulation Service, embora ele possa ser implementado como um banco de dados distribuído.

5.10.1.3. Broadcast and Unknown Server (BUS)

O servidor BUS, ilustrado na Figura 22, é o servidor de multicast para uma LANE. O servidor BUS aceita quadros broadcast/multicast de vários VCCs e os direciona sobre uma conexão ponto-multiponto (Multicast Forward VCC) ou uma conexão ponto-a-ponto específica Multicast Send VCC.

Uma conexão ponto-a-ponto (MulticastSend) de cada cliente LEC na LAN emulada (ELAN) é configurada para o servidor BUS quando o cliente LEC se une a ELAN. Pacotes para serem difundidos do LEC são enviados para o servidor BUS, que os recebe da camada AAL como pacotes completos. O servidor BUS envia os pacotes de volta para todos os clientes LECs usando a conexão ponto-para-multiponto (MulticastForward). Isto é feito numa FIFO (First-In First-Out), um pacote a cada vez, sem que nenhuma célula de diferentes pacotes intercale a conexão.

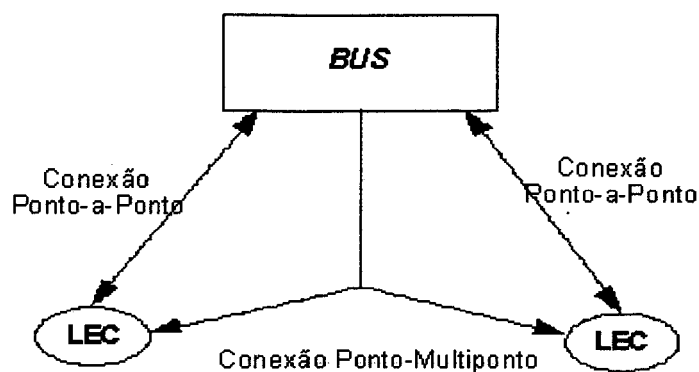


Figura 22. Servidor BUS [Zeitnet, 96]

Os clientes LECs também enviam pacotes, cujo destino é desconhecido, para o servidor BUS. O servidor BUS direciona tais pacotes para todos os clientes LECs que são capazes de recebê-los. Estes clientes LECs de destino podem estar em pontes, comutadores e roteadores. O servidor BUS envia uma cópia destes pacotes para cada cliente LEC na ELAN, incluindo o cliente LEC de onde o pacote foi originado. Os clientes LECs devem filtrar o tráfego que chega usando um campo no cabeçalho de cada pacote que identifica unicamente cada cliente LEC.

5.10.2. QoS em LANE

Como no IPOA não existe interface para prover qualidade de serviço (QoS) para as aplicações que rodam no LANE. O LANE adota a categoria de serviços UBR que se aplica a conexões sem a definição de parâmetros de tráfego e sem garantia de QoS para emular a categoria de serviço Melhor Esforço.

O serviço LANE versão 2.0 melhora o suporte a qualidade de serviço (QoS), porque os administradores de rede podem especificar o tipo de serviço de tráfego a ser utilizado pela aplicação.

5.11. Conclusão

Como visto nas seções anteriores as redes ATM satisfazem quase todos os requisitos para comunicações multimídia:

- **Largura de banda:** redes ATM fornecem um acesso de alta velocidade para cada sistema final. Duas velocidades de acesso de 155 e 622 Mbps

tem sido utilizadas, embora velocidades mais altas e mais baixas são possíveis.

- **Flexibilidade e garantias de QoS:** redes ATM podem suportar aplicações com diferentes características de tráfego e requisitos de comunicação como: largura de banda, restrição de atraso e sensibilidade a erro.
- **Escalabilidade:** redes ATM fornecem um protocolo que não é dependente de largura de banda e permite que qualquer aplicação com requisitos de comunicação diferentes possam compartilhar o mesmo UNI, a largura de banda de acesso para cada ponto não é afetada pelo número de usuários ativos na rede.
- **Integração:** redes ATM fornecem um protocolo que pode simultaneamente suportar múltiplas aplicações com diferentes características e requisitos pela mesma UNI. Isto é fundamental para suportar aplicações multimídia.
- **Eficiência:** redes ATM utilizam a multiplexação estatística para compartilhamento da largura de banda de transmissão, o ganho estatístico é significativo quando aplicações com alto pico para a taxa de largura de banda média são multiplexadas. As aplicações multimídia tendem a ser muito em rajadas, o ganho estatístico resultante implica em um compartilhamento muito eficiente do custo de transmissão.
- **Multicasting:** redes ATM permitem a implementação de multicasting pela alteração de VCI e VPI em comutadores.
- **Versatilidade:** redes ATM usam um mecanismo uniforme de multiplexação e comutação independente da taxa de bits, tamanho da rede e meio de transmissão.

Se a rede ATM é uma rede que usa o protocolo de rede IP em sua totalidade, talvez composta de estações de trabalho UNIX e servidores de arquivos interconectados por roteadores IP, o IPOA é a escolha óbvia, pois o tamanho do pacote e a baixa sobrecarga do protocolo tende a prover melhor o desempenho para as aplicações. Contrariamente, se o protocolo primário no nível de rede não é IP, o serviço LAN Emulation será capaz de transportar o tráfego.

A utilização do IP acaba gerando um outro problema, pois o IP não provê QoS na medida em que não há como especificar, negociar e aproveitar o conceito de QoS das redes ATM. Esta é a área de atuação desta proposta de dissertação, que apresenta

propostas de trabalho com objetivo de suprir a falta de uma interface de qualidade de serviço (QoS) para as aplicações que rodam no IP sobre ATM em redes locais.

6. QoS em aplicações multimídia sobre IP/ATM

6.1. Motivação

Em comunicações multimídia é importante garantir o desempenho fim-a-fim, das informações entre a origem e o destino. Garantir os parâmetros de desempenho especificados para a aplicação dentro dos sistemas, é que torna importante o conceito de qualidade de serviço (QoS).

Como visto na seção 5, aplicações em redes IP sobre ATM, tanto IPOA como LANE, não dispõem de uma interface que possibilite a negociação de QoS a nível da camada ATM. Portanto, todas as funcionalidades de QoS do ATM serão perdidas. O primeiro problema a ser considerado é como negociar as condições em que a rede deve operar. Após, como garantir que essas condições sejam mantidas ao longo do tempo e que atitude deve-se tomar, caso não seja mais possível. Devem ser tomadas decisões em relação a alocação de recursos, cancelamento das operações, forma de monitoração e a possibilidade de renegociação.

6.2. O objetivo

O objetivo desta dissertação é estudar a problemática do provimento do suporte de QoS fornecido pelas redes ATM às aplicações IP sobre ATM e propor uma extensão para o CLIP onde a aplicação possa definir uma certa qualidade de serviço a nível de ATM. Este estudo limita-se às aplicações IP em redes ATM e não envolve integração com outras tecnologias de rede.

Para validar a proposta, ela foi simulada a fim de demonstrar a correção das funcionalidades propostas. Devido à restrição de tempo para conclusão deste trabalho de dissertação e à falta de alguns elementos de hardware e códigos fontes, esta proposta não será implementada neste trabalho.

6.3. Trabalhos relacionados

Esta seção apresenta algumas propostas de inclusão de interfaces de especificação de qualidade de serviço (QoS) em redes IP sobre ATM.

6.3.1. Serviços integrados / RSVP sobre ATM [Crawley, 98]

É natural que o RSVP e o modelo de Serviços Integrados da Internet pudessem utilizar as propriedades de qualidade de serviço (QoS) de qualquer camada mais baixa incluindo o ATM.

Uma questão chave que resta para o IP em um ambiente ATM é a integração da sinalização RSVP e sinalização ATM no suporte do modelo de Serviços Integrados da Internet. Existem duas áreas principais envolvidas no suporte ao modelo, tradução de QoS e gerenciamento de VC. Tradução de QoS significa mapear a QoS do modelo para a QoS ATM. Gerenciamento de VC se concentra em quantos VCs são necessários e quais fluxos de tráfego são roteados sobre quais VCs.

6.3.1.1. Modelos para o RSVP e Serviços integrados sobre ATM

Discute-se vários modelos diferentes para executar IP sobre redes ATM. Qualquer um destes modelos poderiam funcionar contanto que os pacotes de controle do RSVP (seção 3.2) e pacotes de dados pudessem seguir o mesmo caminho através da rede. É importante que as mensagens PATH do RSVP sigam o mesmo caminho que os dados tal que o estado PATH apropriado seja instalado em roteadores ao longo do caminho. Para uma rede ATM, isto significa que os pontos devem ser os mesmos em ambas direções para as mensagens RSVP de controle e dados. Observe que o protocolo RSVP não requer roteamento simétrico. O estado PATH instalado pelo RSVP permite que as mensagens identifiquem os nós que a mensagem PATH utilizou.

6.3.1.2. Ponto-a-multiponto

Os modelos de Serviços Integrados e RSVP suportam a idéia de “receptores heterogêneos” mas nem todos os receptores de um fluxo multiponto particular exigem a mesma QoS da rede.

O cenário mais importante que pode utilizar esta característica ocorre quando alguns receptores na sessão RSVP pedem uma QoS específica enquanto outros recebem o fluxo com o serviço “melhor esforço”. Em alguns casos onde existem múltiplos remetentes em um fluxo de reserva compartilhado (ex. uma áudio conferência), um receptor individual somente necessita reservar recursos suficientes para receber um

remetente de cada vez. Porém, outros recebedores podem resolver reservar mais recursos, talvez para permitir um “over-speaking” ou para gravar a conferência.

Para fornecer QoS para IP multicast, uma característica importante do RSVP, os fluxos de dados devem ser distribuídos para múltiplos destinos. Os VCs ponto-a-multiponto fornecem tal mecanismo. É importante mapear as ações do IP multiponto e RSVP. Os VCs ponto-para-multiponto como foram definidos na UNI 3.x e UNI 4.0 têm uma única classe de serviço para todos os destinos. Isto é o contrário para o conceito de RSVP “destinatário heterogêneo”. É possível organizar um VC diferente para cada destinatário pedindo uma QoS diferente. Isto pode, ainda, adicionar problemas de escalonamento quando se maneja múltiplos VCs na mesma interface para diferentes destinos.

O ATM 4.0 expande os VCs ponto-a-multiponto permitindo que um ponto de junção ATM se conecte a um VC ponto/multiponto existente sem necessariamente contatar a fonte do VC. Isto pode reduzir a carga no ponto fonte de ATM para organizar novas ramificações e combinações para o modelo baseado no destinatário do RSVP e IP multicast. Entretanto, muitos dos problemas de escalonamento permanecem e as novas ramificações adicionadas a um VC ponto / multiponto devem usar a mesma QoS que as ramificações existentes.

O IP sobre ATM possui o conceito de servidor multicast ou que pode aceitar células de múltiplos remetentes e enviá-los via um VC ponto / multiponto para um conjunto de recebedores. Isto move os tópicos de escalonamento VC notados anteriormente para VCs ponto / multiponto para o servidor multicast. Adicionalmente, o servidor multicast vai precisar saber como interpretar os pacotes RSVP ou instruções de outro nó para ser capaz de fornecer aos VCs, a QoS apropriada para os fluxos RSVP.

6.3.2. Suporte MPLS de serviços diferenciados sobre ATM [Wu, 97]

No MPLS, quando um fluxo de dados atravessa um caminho comum, um LSP (Label Switched Path) pode ser estabelecido usando protocolos de sinalização MPLS. Em cada pacote é colocado um rótulo antes de sua transmissão. O rótulo é usado para retransmitir o pacote para o próximo nó. O MPLS provê uma descrição detalhada de como os comutadores ATM podem ser utilizados como LSRs (Label Switch Router) e como LSPs são estabelecidos.

Em Serviços Diferenciados, todos os pacotes IP cruzando um mesmo link e requerendo o mesmo comportamento constituem o Comportamento Agregado. Os pacotes são classificados e rotulados com um código DiffServ, o qual corresponde ao seu Comportamento Agregado. [Wu, 97] propõe uma solução para o suporte do Comportamento Agregado, os quais estão definidos atualmente sobre uma rede MPLS ATM, isto é, uma rede MPLS implementada usando comutadores ATM.

6.3.2.1. Estabelecimento do LSP para DiffServ sobre MPLS ATM

Reconhecendo que:

- O cabeçalho dos pacotes MPLS não costuma ser visível para os LSRs MPLS ATM, já que o dado é encapsulado “dentro” da “conexão” LSP ATM;
- O MPLS para Serviços Diferenciados assume uma arquitetura apropriada para retransmissão e priorização realizada em todos os nós;
- Os Comutadores ATM são geralmente capazes de selecionar diferentes filas para células pertencentes a diferentes conexões, mas em geral não são capazes de selecionar diferentes comportamentos para células pertencentes à mesma conexão ATM;
- Os Comutadores ATM são capazes de manter a ordem de todos os pacotes ou células enviadas em uma única conexão;
- Os Comutadores ATM são geralmente capazes de forçar diferentes prioridades de descarte dentro de uma única conexão através de mecanismos de descarte seletivo padronizados como CLP para ATM.

É proposto que:

- Todos os pacotes pertencentes a um único SA (Scheduling Aggregate) e mesma Classe de Equivalência de Retransmissão (FEC) sejam enviados em um único LSP;
- Um LSP estabelecido pelo par <FEC,SA> (em vez de simplesmente um LSP por FEC em uma rede que não suporta Serviços Diferenciados).

O MPLS especifica como LSPs podem ser estabelecidos via múltiplos protocolos de sinalização, os quais incluem o Protocolo de Distribuição de Rótulos (LDP) e RSVP. [Wu, 97] propõe extensões do LDP e RSVP para permitir estabelecimento de um LSP por par <FEC,SA> sobre MPLS ATM.

6.3.2.2. Etiqueta para DiffServ sobre MPLS ATM

Para descrever a retransmissão da etiqueta de Serviços Diferenciados sobre MPLS ATM, é necessário o chaveamento da etiqueta de Serviços Diferenciados compreendido em três estágios:

- PHS de entrada e determinação do FEC;
- Determinação do PHS de saída opcional;
- Determinação do campo e etiqueta de saída.

Não existem trabalhos correntes em mapeamento diffserv para trabalhar com transporte ATM, já que não existe acordo ainda no que significa diffserv. Apesar disso, seguem alguns pensamentos iniciais na questão que podem ser significativos:

Mapeando caminhos provisionados para ATM

Para suportar diffserv, um número de canais virtuais pode ser configurado entre roteadores adjacentes, um canal virtual por classe de tráfego. Os canais virtuais podem ser provisionados como o CBR com alguma banda apropriada sinalizada a eles, talvez proporcional à quantidade de tráfego de cada classe que é esperada para ser carregada pelo provedor. Desta forma, a rede ATM tratará as classes de tráfego preferencialmente. Isto também é possível na utilização de canais virtuais do tipo VBR para prover alguns ganhos estatísticos de multiplexação.

Uma alternativa é provisionar um canal virtual com capacidade suficiente para carregar todos os pacotes em todas classes de tráfego. Neste caso, a rede ATM é tratada como uma ligação única e os roteadores gerenciam o tráfego entre as várias classes, sem suporte do ATM.

Mapeando marcação de pacote para ATM

Se os canais virtuais VBR são usados para conectar roteadores e dois níveis de precedência são aplicados, as células em excesso e seus perfis poderiam ser etiquetadas enquanto outras não. Existirá alguma interação aqui entre tráfego em excesso de um perfil individual e o tráfego em excesso agregado de todos perfis atravessando esta ligação, então a banda do canal virtual deve ser provisionada cuidadosamente. Nenhuma etiquetação é permitida com CBR. Também, o ATM não especifica como células etiquetadas serão tratadas, mas é esperado que tais células sejam tratadas da maneira Melhor Esforço.

Mapeando MPLS para ATM

Quando o MPLS é usado para configurar os caminhos diferenciados para o tráfego, cada caminho MPLS pode ser mapeado para um único canal virtual do ATM. O VPI/VCI do ATM pode carregar as etiquetas do MPLS e os recursos do canal virtual podem ser provisionados baseados nos requerimentos do caminho MPLS.

Service Interworking

Em todos os cenários acima, os fluxos IP com QoS foram encapsulados em canais virtuais do ATM; o ATM estava provendo meramente transporte para os pacotes IP sem interpretar os pacotes ou serviços providos por tais pacotes. Isto é também conhecido como "network interworking". Neste caso, os mecanismos IP com QoS foram mapeados para os mecanismos ATM com QoS.

Outra forma de QoS interworking é possível usando "service interworking". Neste caso, o serviço sendo provido pelos pacotes IP é mapeado para um serviço equivalente em ATM e os pacotes IP são traduzidos (em vez de serem encapsulados) para o ATM.

Um exemplo de trabalho em progresso nesta área é o transporte da voz sobre o ATM, usando o H.323. Na rede IP, a voz é encapsulada em RTP, a qual é então transportada sobre UDP/IP. Os cabeçalhos do protocolo para RTP, UDP e IP juntos contabilizam 40 bytes ou mais. Se este fluxo era para ser carregado sobre ATM usando os mecanismos usuais IP sobre ATM, o pacote de voz seria encapsulado usando cabeçalhos LLC/SNAP, AAL e ATM. Isto, junto com o fato de que o "payload" da voz é mantido pequeno para reduzir atraso de empacotamento, adicionando "overhead" ao transporte da voz.

Uma forma de reduzir o "overhead" é comprimir os cabeçalhos. O transporte no ATM pode ser modelado como uma ligação virtual ponto-a-ponto e o "payload" da voz pode ser mapeado em um mapeamento ATM equivalente. A informação dos cabeçalhos RTP, UDP e IP é mapeada para alguns bits no cabeçalho AAL e ATM, onde então o "overhead" é mínimo.

Adicionalmente, pacotes de voz são carregados sobre canais virtuais separados (usando o encapsulamento especial), este canal virtual pode ser provisionado para prover a QoS apropriada. O canal virtual pode ser configurado estaticamente (PVC) ou dinamicamente (SVC).

6.3.3. Suporte de QoS para fluxos IP sobre ATM [Braun, 97]

[Braun, 97] descreve uma arquitetura de implementação para fornecer suporte de QoS para fluxos IP sobre ATM. A arquitetura é baseada em uma implementação do IP clássico sobre ATM, a qual foi estendida para suportar QoS em nível de aplicação. Sistemas de chamadas foram implementados, os quais permitem especificar parâmetros de descrição de fluxo de tráfego a serem usados em mensagens para o estabelecimento do VC. Se uma VC dedicada existir para um fluxo, os pacotes do fluxo são enviados sobre este VC, de outra forma um VC melhor esforço é usado, devendo ser compartilhado com outros fluxos. A vantagem deste método é que as aplicações apenas precisam ser modificadas suavemente para poderem aproveitar corretamente as extensões de implementações do IP clássico sobre ATM. Apenas funções de chamada adicionais que especificam a qualidade de serviço desejada são fornecidas. Em nível de transporte, TCP e UDP são usualmente suportadas. A arquitetura é aberta para outros protocolos sobre IP.

6.3.3.1. Arquitetura proposta

A arquitetura de implementação do IP clássico sobre ATM com suporte de QoS é ilustrada na Figura 23. A1, A2 e A3 são três aplicações que têm acesso a um VC estabelecido pela implementação do Clássico IP sobre ATM. Em um certo momento, as aplicações podem requerer um VC do ATM com QoS, através de uma reserva RSVP ou diretamente através uma chamada de controle. Depois que o VC com QoS privado tenha sido estabelecido, ele é usado exclusivamente para a aplicação requerida.

6.3.3.2. Tabela ATM ARP QoS

A implementação do Clássico IP sobre ATM gera uma tabela para armazenar os endereços do ATM de sistemas fins, juntamente com seus endereços IP e um identificador do VC a ser usado no envio de datagramas IP para destinos especificados. Várias funções internas de implementação do IP clássico sobre ATM acessam e modificam o conteúdo desta tabela, objetivando permitir as aplicações ou protocolos de reserva tais como RSVP para requisitar uma qualidade de serviço especial a ser usada para um certo fluxo IP. Uma segunda tabela ATM ARP foi somada em adição à tabela padrão ATM ARP. Esta tabela ATM ARP QoS armazena informações como identificadores de fluxo e os correspondentes parâmetros de QoS. As funções para

acessar e modificar esta tabela e as ações resultantes destas modificações são descritas adiante.

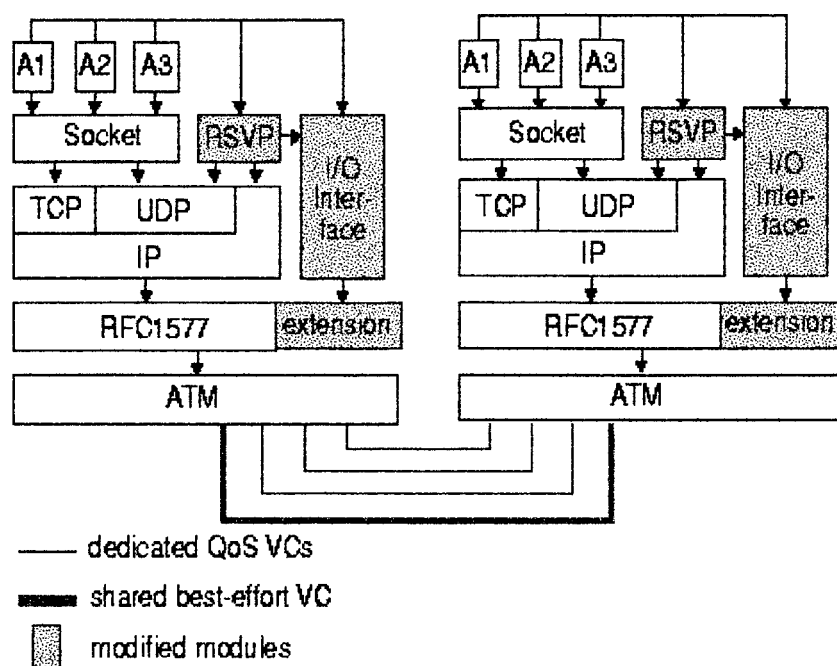


Figura 23. Arquitetura de implementação do Clássico IP sobre ATM

Para armazenar a informação referente ao identificador de fluxo e os parâmetros de QoS em cada uma das entradas da tabela ARP, um subcampo dentro desta estrutura é usado como um apontador para uma nova estrutura.

6.3.3.3. Modificações na origem

Quando um pacote de dados para um certo fluxo deve ser enviado, a implementação estendida do IP clássico sobre ATM procura se há uma entrada para o fluxo na tabela ATM ARP QoS. Se uma entrada é encontrada e um VC não existe, ele tenta estabelecer o VC mandando uma mensagem. Enquanto isso, ele envia o fluxo de pacotes para os quais a conexão está sendo estabelecida através do VC de melhor esforço para o destino. Assim que o VC dedicado é estabelecido, pacotes pertencentes ao fluxo serão mandados para o VC dedicados. Para um pacote ser enviado, as seguintes operações são executadas:

- Se nenhuma entrada na tabela ATM ARP QoS é encontrada para o endereço destino, as operações normais ATM ARP são executadas.

- Se pelo menos uma entrada é encontrada, o identificador do fluxo é extraído do cabeçalho do pacote.
- Se nenhuma entrada na tabela ATM ARP QoS é encontrada, o pacote é enviado para o VC de melhor esforço.
- Se uma entrada na tabela ATM ARP QoS é encontrada, existem três situações:
 - Se o VC está configurado o pacote é enviado através de um VC QoS dedicado;
 - Se o VC está conectado o pacote é enviado através do VC de melhor esforço;
 - Se o VC não está configurado uma chamada de função é executada para conectar o VC, e o pacote é enviado através do VC de melhor esforço.
- O estabelecimento do VC é provocado por um comando ATM_SQOS.

O número de operações adicionais da rotina de envio é mantido muito baixo se comparado à implementação original do IP clássico sobre ATM para minimizar a perda de performance.

6.3.4. Avaliação das propostas apresentadas

Considerando os objetivos propostos e as simplificações apresentadas, as propostas analisadas na sessão anterior não são convenientes para implementação, pois apenas uma das propostas não é capaz de solucionar o problema exposto:

[Crawley, 98] :

- Este trabalho não apresenta uma efetiva arquitetura de implementação de serviços integrados/RSVP sobre ATM. Ele é apenas um estudo da problemática e proposição de algumas soluções. Além disso, existem ainda alguns problemas a serem resolvidos para a implementação de RSVP sobre ATM.

[Wu, 97] :

- Semelhante ao trabalho anterior, este trabalho não apresenta uma efetiva arquitetura de implementação de serviços diferenciados sobre ATM. Ainda

não existem trabalhos correntes em mapeamento de serviços diferenciados para trabalhar com transporte ATM, já que os trabalhos de recomendação dos serviços diferenciados ainda não se concluíram.

[Braun, 97] :

- Este trabalho apresenta uma proposta completa, uma arquitetura de implementação de suporte de QoS para fluxos IP sobre ATM. Esta proposta usa o protocolo RSVP para garantir a QoS fim-a-fim entre duas aplicações. Esta proposta não inclui comunicação multicast. Para identificar os fluxos que exigem um tratamento especial, esta proposta utiliza o campo Identificador de fluxo do IPv6 e os endereços fontes e destino do fluxo no IPv4. Este esquema de identificação não funciona bem no caso do IPv4, pois podem existir ao mesmo tempo fluxos, com mesmo endereço origem e destino, exigindo QoS e fluxos a serem transportados no esquema melhor esforço.

6.4. Arquitetura proposta

Esta seção apresenta a proposta que é uma extensão para fornecer QoS ATM para aplicações IP e baseada nos serviços diferenciados e na proposta de [Braun, 97], onde os pacotes serão classificados a partir do campo DS em uma implementação do CLIP sobre ATM, a qual será estendida para suportar QoS em nível de aplicação.

O objetivo está sujeito a algumas restrições para fins de simplificação do problema proposto. Estas restrições são as seguintes:

- Este estudo limita-se às aplicações IP em redes ATM e não envolvem integração com outras tecnologias de rede;
- O objetivo é uma proposta simplificada, visando a uma rede local ATM e não a uma rede WANs envolvendo diversas tecnologias de rede;
- O objetivo não é o gerenciamento de QoS fim-a-fim, mas apenas a nível ATM, portanto não é visado o uso de protocolos de reserva de recursos, como o RSVP.

A extensão do CLIP sobre ATM com suporte de QoS é ilustrada na Figura 24. Esta extensão pode ser divididas em:

- A administração de uma tabela ATM_QoS adicional junto como a definição de novas estruturas de dados para armazenar QoS e informações do identificador do fluxo;
- A introdução de novos comandos para montar, obter e apagar entradas desta tabela ATM_QoS;
- Associação do fluxo requerendo um transporte com QoS ao VC dedicado para este fim.

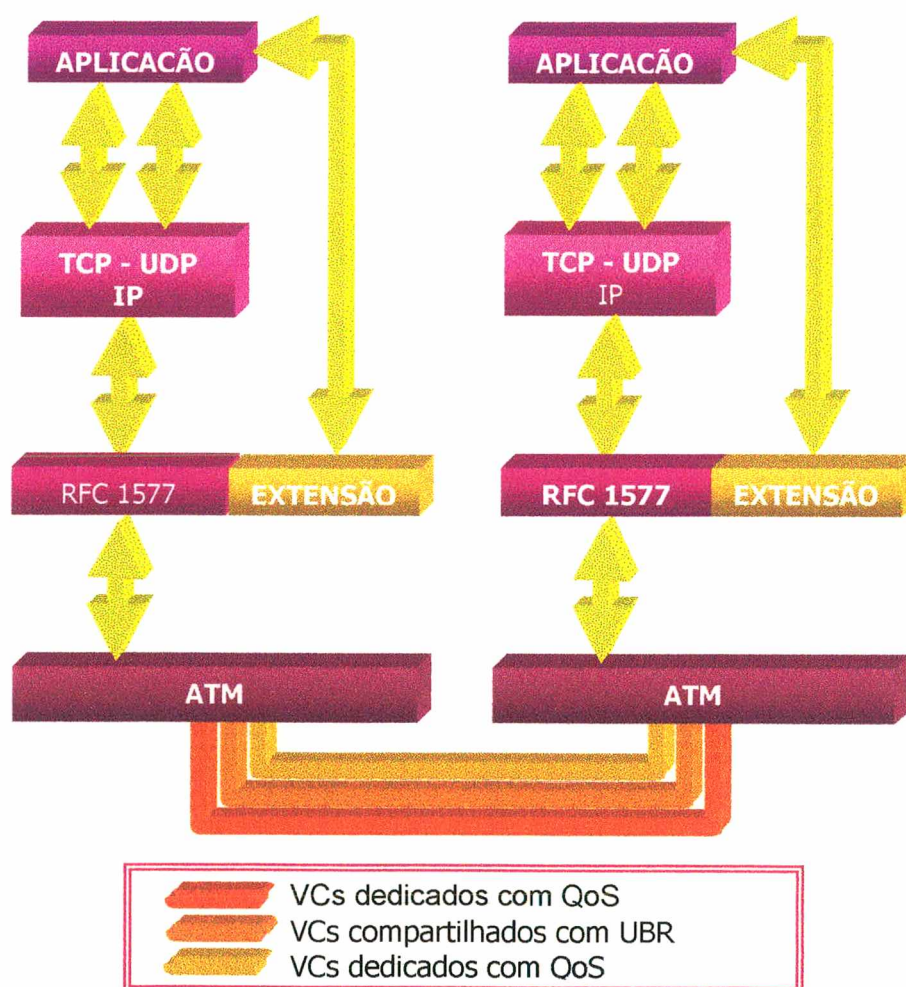


Figura 24. Arquitetura da proposta Extensão do CLIP sobre ATM

A tabela ATM_QoS tem a seguinte estrutura:

Índice (DS)	Descritor de Tráfego	Tipo de QoS	Endereço Destino
1			
2			
...			

Do ponto de vista da aplicação, o esquema proposto de provimento de QoS para aplicações IP sobre ATM se comportará da seguinte forma:

- Antes de iniciar o transporte de um fluxo IP (de áudio ou vídeo), a aplicação deverá informar a descrição do tráfego a ser gerado. Os parâmetros a serem informados são os mesmos do descritor de tráfego ATM apresentado em 5.8.2;
- O descritor de tráfego do fluxo será armazenado em uma tabela ATM_QoS, sendo que o índice de entrada deste dado (byte) será retornado à aplicação. Este índice terá os mesmos objetivos do campo DS dos serviços diferenciados. Como nos serviços diferenciados, este campo servirá para marcar os pacotes para que ele receba um tratamento particular do sistema de comunicação. Diferente dos diffservs, o campo DS não identifica um perfil de tráfego e sim permite identificar o fluxo, tanto no IPv4 quanto no IPv6;
- Quando a aplicação enviar um fluxo IP com uma certa QoS, ela deverá associar aos pacotes IP o campo DS. Os fluxos exigindo apenas o tipo melhor esforço não terão seus campos DS configurados;
- A extensão do CLIP recebendo um pacote IP com um campo DS configurado deverá procurar na tabela ATM_QoS o descritor de tráfego correspondente a este fluxo. Caso um VC estiver ativo para este fluxo, o pacote IP será enviado por este VC. Caso não exista um VC ativo, ele deverá ser configurado antes do envio do pacote IP. Esta informação estará contida na tabela ATM_QoS. Caso o fluxo seja de melhor esforço, ele será enviado por um VC melhor esforço.

6.5. Simulação da proposta

A fim de testar a extensão proposta anteriormente, foi realizada a simulação, em JAVA, de todo o comportamento da proposta de provimento da QoS para aplicações IP sobre ATM: desde a definição e gerenciamento da tabela ATM_QoS e o mapeamento dos fluxos aos VCs correspondentes de acordo com o campo DS. Esta simulação não visa a avaliar aspectos de desempenho, mas sim a confirmar a correção conceitual da arquitetura proposta.

6.5.1. Arquitetura simulada

Para realizar o teste, foi definido um cenário, contendo três terminais ATM, sendo um Emissor e dois Receptores de diversos fluxos multimídia (áudio ou vídeo), conforme ilustrado na Figura 25. O Emissor envia dois fluxos para o Receptor-20, um com uma QoS Melhor Esforço e outro fluxo (F1) com uma certa QoS. O Emissor também envia igualmente dois fluxos para o Receptor-30, um com uma QoS Melhor Esforço e outro fluxo (F2) com uma certa QoS.

Conforme a proposta, serão criados quatro conexões ATM para o transporte destes fluxos, um com QoS Melhor Esforço para o Receptor-20 pela porta 2, outro também com QoS Melhor Esforço para o Receptor-30 pela porta 3, outro com uma determinada QoS (F1) para o Receptor-20 pela porta 2 e outro também com uma determinada QoS (F2) para o Receptor-30 pela porta 3, conforme figura abaixo. O número ao lado do nome do Emissor ou Receptor é o endereço IP. Na arquitetura apresentada, estes terminais são conectados a um único ATM.

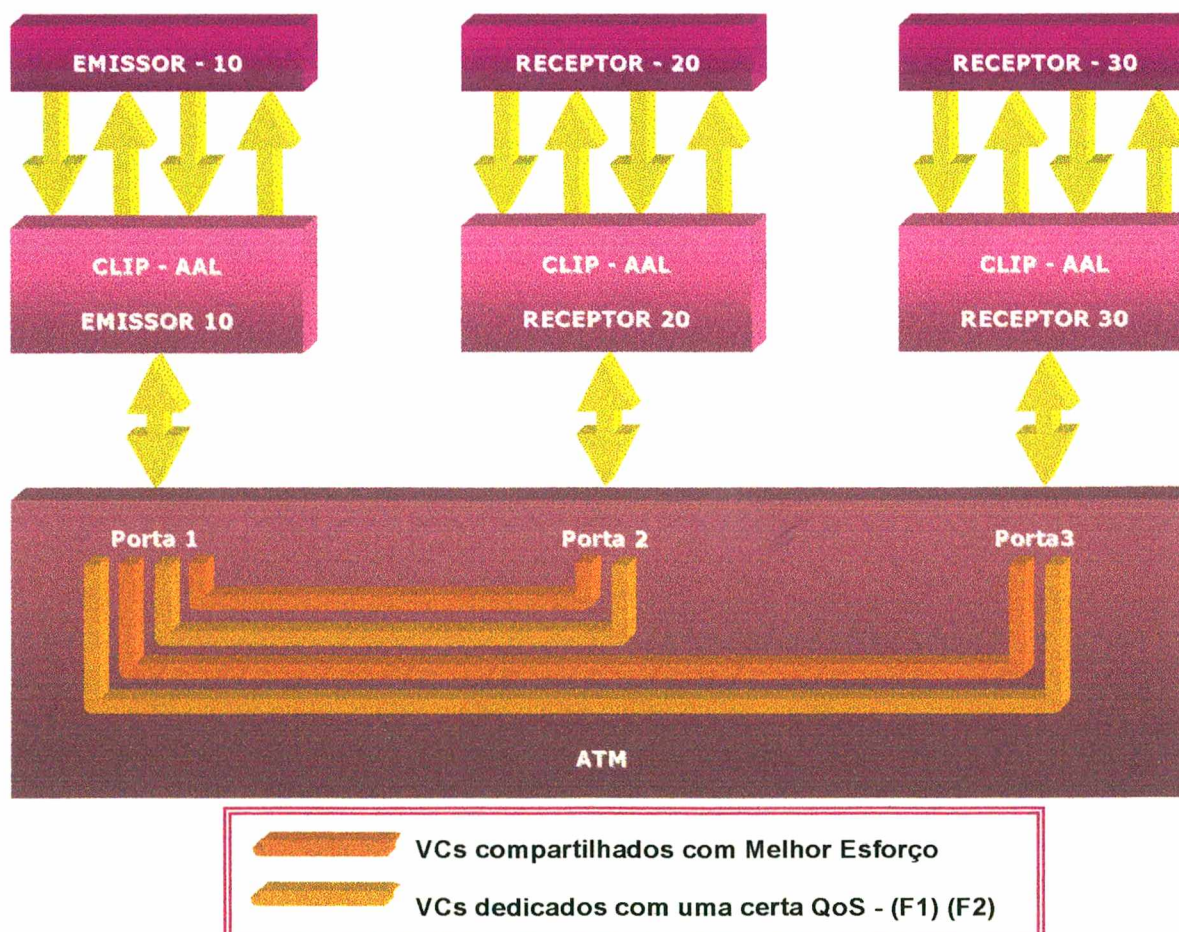


Figura 25. Arquitetura Simulada

6.5.2. Descrição das classes implementadas

A arquitetura implementada em Java segue a estrutura da Figura 26, sendo que cada elemento se apresenta na forma de uma Thread e o mecanismo de comunicação entre estas Threads foi feito a partir de monitores. A seguir, será apresentada uma descrição de cada classe implementada.

Classe Emissor

Esta classe simula uma aplicação enviando quatro fluxos multimídia (áudio ou vídeo) para dois receptores. Esta classe tem as seguintes funções:

- Configuração dos fluxos com QoS diferentes de Melhor Esforço: antes do envio dos pacotes de dados dos fluxos exigindo QoS da camada ATM, a aplicação informa a camada CLIP/AAL a descrição de tráfego de cada fluxo e recebe o valor do campo TOS (DS) a ser utilizado pelos pacotes IP transportando estas informações;
- Geração dos pacotes IP a serem transmitidos para os Receptores 20 ou 30;
- Simulação do envio dos pacotes IP para os Receptores;
- Envio dos pacotes IP gerados para a camada CLIP/AAL.

Classe CLIP/AAL - Emissor (ATM Adaptation Layer)

Esta classe simula o comportamento das camadas CLIP estendida (segundo a proposta descrita neste trabalho e a camadas AAL). Esta classe tem as seguintes funções:

- Receber as configurações de fluxos de QoS e atualizar a tabela ATM_QoS;
- Responsável pela recepção de todos os pacotes que chegam da classe Emissor - 10;
- Conversão destes pacotes IP em células ATM;
- Inserção do cabeçalho da célula, VPI e VCI de acordo com a tabela ATM_QoS;
- Verificação e estabelecimento dos VCs com o ATM para transmissão das células, de acordo com informações da tabela ATM_QoS;
- Envio das células ao ATM.

Classe ATM

Esta classe simula o comportamento de um ATM. O switch simulado é ligado aos módulos Emissores e Receptores a partir de 3 portas: na porta 1 é conectado o Emissor; na porta 2 é conectado o Receptor-20 e na porta 3 o Receptor-30. Esta classe tem as seguintes funções:

- Recepção das células que chegam na porta 1;
- Simulação do protocolo de roteamento ATM que identifica para que porta a célula deve ser retransmitida;
- Retransmissão da célula ATM para a porta 2 ou 3 de acordo com as informações de roteamento.

Classe CLIP/AAL/Receptor

Esta classe simula o comportamento da CLIP/AAL do Receptor-20 e do Receptor-30 por motivos de simplificação. As classes CLIP/AAL do Receptor-20 e a CLIP/AAL do Receptor-30 possuem as seguintes funções:

- Responsável pela recepção de todas as células provenientes da porta 2 ou porta 3 do ATM;
- Conversão das células em pacotes IP;
- Retransmissão destes pacotes para o seu destino Receptor-20 ou Receptor-30 respectivamente.

Classe Receptor

Esta classe simula o comportamento do Receptor-20 e do Receptor-30 por motivos de simplificação. As classes Receptor-20 e a Receptor-30 possuem as seguintes funções:

- Responsável pela recepção dos pacotes IP provenientes da CLIP/AAL/Receptor-20 ou CLIP/AAL/Receptor-30 respectivamente.

6.5.3. Descrição dos resultados da simulação

Para melhor visualizar os resultados da simulação, foi implementada uma interface gráfica. Esta interface é apresentada na Figura 26. Cada campo de texto informa as ações de cada componente simulado.

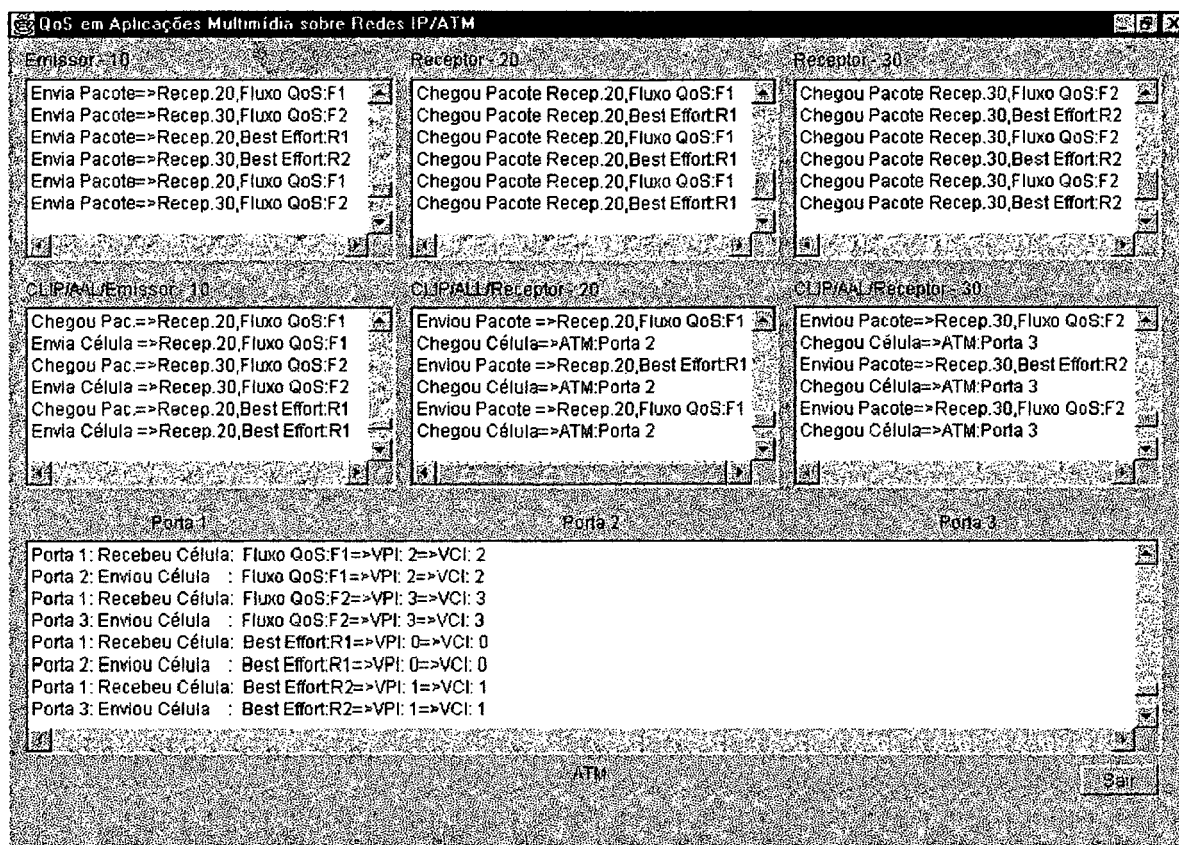


Figura 26. Interface da Simulação

Os resultados da simulação comprovaram que a estrutura proposta permite gerenciar corretamente vários pedidos de fluxos com diferentes QoS. A simulação gerenciou corretamente os estabelecimentos de conexão necessários aos transportes dos fluxos para os Receptores 20 e 30 respectivamente. Conforme Figura 26, pode-se verificar que os fluxos Melhor Esforço (UBR - Unspecified Bit Rate) são encaminhados pelas conexões identificadas pelo pares (VPI:0,VCI:0) e (VPI:1,VCI:1), e os fluxos com uma determinada QoS foram encaminhados pelas conexões (VPI:2,VCI:2) e (VPI:3, VCI:3). Este gerenciamento foi totalmente possível graças à definição de diferentes DS para os diferentes fluxos. Conforme visto na figura, os pacotes IP transportando os dados correspondentes ao fluxo de Melhor Esforço para o Receptor-20 tiveram seu campo TOS setado para o valor 0, aqueles que transportam os dados do fluxo Melhor Esforço para o Receptor-30 tiveram seu campo TOS setado para o valor 1, aqueles que transportaram os dados do fluxo (F1) com uma determinada QoS para o Receptor-20 tiveram seu campo TOS setado para o valor 2 e aqueles que transportaram os dados do fluxo (F2) com uma determinada QoS para o Receptor-30 tiveram seu campo TOS setado para o valor 3.

Se a aplicação enviar um fluxo IP com uma certa QoS, ela deverá associar aos pacotes IP o campo DS. Os fluxos que exigem apenas o tipo Melhor Esforço não terão seus campos DS configurados.

Quando a extensão do CLIP recebe um pacote IP com um campo DS configurado, ele associa o mesmo ao seu correspondente fluxo. Se o VC já estiver ativo para este fluxo, o pacote IP será enviado por este VC. Caso não exista um VC ativo, ele irá configurar antes do envio do pacote IP. Se o fluxo é de Melhor Esforço, ele será enviado por um VC de Melhor Esforço.

Foi possível observar e acompanhar diversas atividades simuladas como: especificação, mapeamento, conexão e gerenciamento de recursos de QoS sobre o ATM, permitindo que diferentes aplicações com diferentes características de tráfego e requisitos de comunicação e garantias de QoS fossem tratadas pelo ATM.

7. Conclusão

Qualidade de Serviço (QoS) é uma especificação qualitativa e quantitativa dos requisitos de uma aplicação que um sistema multimídia deve satisfazer a fim de obter a qualidade desejada. QoS é um requisito fundamental para diversas aplicações, envolve atividades como: especificação, mapeamento, negociação e gerenciamento de recursos.

Portanto, em comunicações multimídia é importante garantir o desempenho fim-a-fim. Visando a fornecer uma única abordagem, permitindo que diversos tipos de aplicações possam especificar seus parâmetros de desempenho e que os sistemas possam garantir o desempenho especificado, é que foi concebido o conceito de qualidade de serviço (QoS).

As redes ATM fornecem gerenciamento, flexibilidade e garantias de QoS permitindo assim suportar aplicações com diferentes características de tráfego e requisitos de comunicação como: largura de banda, restrição de atraso e sensibilidade a erro.

O problema reside no fato de que existem poucas implementações de aplicações sobre AAL (camada de Adaptação ATM), onde a principal característica desta camada é a de prover uma complementação de funções específicas aos serviços que não podem ser fornecidos pelo nível ATM. A utilização de aplicações IP sobre ATM ocorre devido à falta de aplicações sobre AAL. Principalmente pelo grande número de aplicações IP, que com o surgimento do ATM poderiam ser reutilizadas sob uma rede de alta velocidade.

Assim sendo, as redes ATM fornecem a QoS, porém quando são utilizadas aplicações IP sobre ATM, tanto para CLIP como para LANE, esta característica é perdida. Isto ocorre devido à falta de uma interface para gerenciamento de QoS.

Esta dissertação apresentou um estudo acerca do problema de provimento de QoS em aplicações sobre redes locais IP/ATM e propôs uma extensão para o CLIP, permitindo assim que aplicações IP/ATM possam definir diferentes qualidades de serviço (QoS) para seus fluxos multimídia (áudio ou vídeo).

Esta proposta baseou-se nos conceitos de serviços diferenciados e na proposta do [Braun, 97]. Conforme visto anteriormente, os pacotes IP transportando os

dados correspondentes ao fluxo de Melhor Esforço tiveram seu campo TOS setado para o valor 0 ou 1, aqueles que transportaram os dados do fluxo (F1 ou F2) com uma determinada QoS tiveram seu campo TOS setado para o valor 2 ou 3. O campo TOS serve para identificar o fluxo, e com isso a conexão ATM.

Para testar a extensão proposta foi realizada uma simulação onde os resultados comprovaram que a estrutura proposta permite gerenciar corretamente vários pedidos de fluxos com diferentes QoS. A simulação gerenciou corretamente os estabelecimentos de conexão necessários aos transportes dos fluxos.

Em trabalhos futuros, seria interessante avaliar o desempenho da arquitetura apresentada neste trabalho para validar aqui os conceitos e comportamentos abordados pela proposta.

8. Referências bibliográficas

As referências abaixo relacionadas são apresentadas ao longo dos capítulos da presente dissertação:

- [Abdel-Wahab, 96] H. Abdel-Wahab, K. Maly, E. Stoica. Multimedia Integration Into a Distance Learning Environment. 3rd International Conference on Multimedia Modelling, Toulouse, November, 1996.
- [Anderson, 99] B. Anderson. MultiTalk. URL: <http://pipkin.lut.ac.uk/~bem/multitalk>.
- [Anixter, 96-1] Anixter White Paper. "LANE Update", Anixter.
- [ATM Forum, 96-1] ATM Forum Technical Committee. "af-pnni-0055.000: Private Network-Network Interface Specification version 1.0. Março de 1996.
- [ATM Forum, 96-2] ATM Forum Technical Committee. "af-pnni-0066.000: Private Network-Network Interface Specification version 1.0.Addendum. Setembro de 1996.
- [ATM Forum, 97-1] ATM Forum Technical Committee. "Integrated PNNI (I-PNNI) v1.0 Specification, 1997.
- [ATM Forum, 97-2] ATM Forum Technical Committee. "Integrated PNNI (I-PNNI) Requirements, 1997.
- [Baynetwork, 96] Baynetwork News. "I-PNNI Accepted as Work Effort By The Forum ATM", Bay Networks 1996.
- [Baynetwork, 97] Baynetwork News. "Switched Internetwork Architectures" (atualizado em 1997).
- [Benarjea, 96] A. Benarjea, D. Ferrari, B. Mah, M. Moran, D. Verma, H. Zhang. The Tenet Real-time Protocol Suite: Design, Implementation, and Experience. IEEE/ACM Transaction on networking. February 1996:1-10.
- [Black, 98] D. Black, S. Blake, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", Internet Draft, May 1998.
- [Bolot, 94] Bolot, J.C., T. Turetti, I. Wakeman. Scalable Feedback Control for Multicast Video Distribution in the Internet. Proc. ACM SIGCOMM pp. 58-67, 1994.
- [Branden, 94] R. Braden, D. Clark & S. Shenker. "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", RFC 1633, June 1994.
- [Braden, 96] Braden, B. Resource Reservation Protocol (RSVP) -p Version 1 Functional Specification, Internet Draft, March 1996.

- [Braun, 97] Braun, Torsten e Stefano, Giorcelli. Internet Drafts Document : <http://www.iam.unibe.ch/~braun/lit/kivs97.ps.gz>.
- [Braun, 97a] T. Braun, H. Stüttgen. Implementation of Internet Video Conferencing Application over ATM. Presented at IEEE ATM'97 Workshop, May 1997.
- [Braun, 97b] T. Braun. Internet Protocols for Multimedia Communications. Part I: IPng The Foundation of Internet Protocols. IEEE Multimedia 4(3):85-90, 1997. Part II: Resource Reservation, Transport, and Application Protocols. IEEE Multimedia 4(4):74-82, 1997.
- [Bray, 98] T. Bray, J. Paoli, C.M. Sperberg-MacQueen. Extensible Markup Language (XML) 1.0. URL: <<http://www.w3.org/TR/REC-xml/>>. Fevereiro de 1998.
- [Cabletron, 97] Cabletron. "Travelling in the SmartLane". Cabletron Systems. Abril de 1997.
- [Campbell, 94] Campbell, A. et al. A Quality of Service Architecture. Computer Communication Review 24(3):6-27, 1994.
- [Campbell, 96] Campbell, A., C. Aurrecoechea, L. Hauw. A Review of QoS Architectures. ACM Multimedia System Journal, 1996. Também no <ftp://ftp.ctr.columbia.edu/CTR-Research/comet/public/papers/96>.
- [Canover, 96] Canover, Joel. "Confused about I-PNNI ?", Network Computing. November 1996.
- [Casner, 92] Casner, S.; Deering, S. First IETF Internet Audiocast, ACM SIGCOMM Computer Communications Review. San Diego – Califórnia, jul. 1992, pp. 92-97. Documento também disponível em <ftp://venera.isi.edu/pub/MBone/ietf-audiocast-article.ps>.
- [Casner, 95] Casner, S. Frequently Asked Question (FAQ) on *Multicast Backbone* (MBONE). Dez. 1995. Documento disponível em <http://www.reserach.att.com/MBone-faq.html>.
- [Cell Relay, 97] Cell Relay. FAQ - ATM Technology Questions.
- [Chen, 96] Z. Chen, S.G. Tan, R.H. Campbell, Y. Li. Real Time Video and Audio: <http://choices.cs.uiuc.edu/srg/stan/vosaic/Overview.html>.
- [Clark, 90] D. Clark, D. Tenenhouse. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. Proc. ACM SIGCOMM 90, ACM Press, New York, 1990, pp. 200-208.
- [Comer, 95] Comer, Douglas E. Internetworking with TCP/IP, Volume I - Principles, Protocols and Architecture, 3a. edição - 1995.
- [Crawley, 98] Crawley, E. Network Working Group. Request for Comments: 2382 category: Informational. <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc2382.txt>

- [Diot, 95] Diot, Ch. Adaptative Applications and QoS Guarantees. Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Networking. IEEE Computer Society Press pp 99-106, Aizu, Japan, 1995.
- [Dauphin, 97] G.Dauphin.Informations: sig.enst.fr/~dauphin/mMosaic/index.html.
- [Dobrowski, 96] Dobrowski, George. "Standards Progress Steadies Advances", Lan Times. Setembro de 1996.
- [FAQ, 98] Frequently Asked Questions about the Extensible Markup Language. URL: < <http://www.ucc.ie/xml/>>.
- [Floyd, 95] S. Floyd, V. Jacobson, S. McCanne. A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing. ACM SIGCOMM'95, pp. 342-356, 1995.
- [Fluckiger, 95] Fluckiger, François. Understanding Networked Multimedia: Applications and Technology. Prentice Hall International (UK) Limited, 1995.
- [Handley, 97] M. Handley, J. Crowcroft. Network Text Editor (NTE) A Scalable Shared Text Editor for the MBone. Presented at ACM SIGCOMM, Cannes, September 1997.
- [Holfelder, 95] W. Holfelder. MBone VCR - Video Conference Recording on the MBone. ACM Multimedia'95, pp. 237-238, 1995.
- [Holfelder, 97] www.informatik.unimannheim.de/informatik/pi4/projects/MVoD.
- [Hinden, 95] Hinden, Robert M.. "IP Next Generation Overview", May 14, 1995. <http://playground.sun.com/ipng/INET-IPng-Paper.html>.
- [Hudgins, 96] Hudgins, Christine Bonafield. " The H-Report", Techweb. Fevereiro de 1996.
- [IETF, 93] IETF - Internet Engineering Task Force. RFC 1483. "Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5", Network Working Group. Julho de 1993.
- [IETF, 94] IETF - Internet Engineering Task Force. RFC 1577. "Classical IP and ARP over ATM", Network Working Group. Janeiro de 1994.
- [Käppner, 94] Käppner, T., L.C. Wolf. Media Scaling in Distributed Multimedia Object Services. In Multimedia: Advanced Teleservices and High-Speed Communication Architectures, R. Steinmetz (Ed.). Springer LNCS 868, pp. 34-43, 1994.
- [Kaufmann, 96] Kaufmann, Morgan. "Publishers Next Generation IP" <http://literary.com/mkp/new/3689/book/node53.html>.
- [Kumar, 95] Kumar, V. MBone: Interactive Multimedia on the Internet. Indianapolis: New Riders Publishing, 232p. 1995.

- [Kuo, 98] Kuo, Franklin, Wolfgang Efflesberg, J.J. Garcia-Luna-Aceves. Multimedia Communications: Protocols and Applications. Prentice Hall PTR, 1998.
- [Liao, 97] T. Liao. WebCanal: a Multicast Web Application. Presented at 6th International on World Wide Web Conference, Santa Clara, CA, April 7-11, 1997.
- [Lyonnet] F. Lyonnet. Rendez-Vous, the next generation videoconferencing tool. www.inria.fr/rodeo/personnel/Frank.Lyonnet/IVSStng/ivstng.ht
- [Lu, 96] Lu, Guojun. Communication and Computing for Distributed Multimedia Systems. Artech House Inc., 1996.
- [Marshall, 95] Marshall, George. "Classical IP over ATM: A Status Report", Data Communications. Dezembro de 1995.
- [MBone, 99] MBone Agenda. Disponível em www.cilea.it/MBone/agenda.html.
- [McCanne, 96] McCanne, S.. Scalable Compression and Transmission of Internet Multicast Video. Ph.D dissertation, University of California, Berkeley, 1996.
- [Melchiors, 97] C. Melchiors, L.M.R. Tarouco. Uma Análise do Mbone. XV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, pp. 313-324, 1997.
- [Nichols, 98] Nichols, K., Blake, S. Differentiated Services Operational Model and Definitions. Internet Draft, February 1998.
- [Nierle, 96-1] Nierle. HomePage "Internet Protocol Version 6", June 13, 1996 <http://www.stl.nps.navy.mil/~jenierle/chapt6.html>.
- [Nierle, 96-2] Nierle. HomePage "Migration to Internet Protocol Version 6", June 13, 1996, <http://www.stl.nps.navy.mil/~jenierle/chapt8.html>.
- [Parnes, 97] P.Parnes, M. Mattsson, K. Symmes, D. Schefström. The mWeb Presentation Framework. Presented at 6th International World Wide Web Conference, Santa Clara, CA, April 7-11, 1997.
- [Rae, 96-1] Rae, Michelle McLean. "Protocol Hype Continues", Lan Times. Março de 1996.
- [Rae, 96-2] Rae, Michelle McLean. "ATM Progress: Slow but Steady", Lan Times. Abril de 1996.
- [Rae, 96-3] Rae, Michelle McLean . "ATM LANE 2.0 Skips Promised Scaleability", Lan Times. Novembro de 1996.
- [R&D, 95] R&D. HomePage "Next-Generation IP Protocol" www.info.hqs.cae.ntt.jp/RD/ACT/RD_act_2/next.html.
- [RFC 2211, 97] J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service". RFC 2211, Sept. 1997.

- [RFC 2212, 97]** S. Shenker, C. Partridge, R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service", RFC 2212, September 1997.
- [Stallings, 96]** Stallings, William. IPv6: The New Internet Protocol <http://www.ieee.org/comsoc/stallings.html>.
- [Schulzrinne, 95]** Schulzrinne, H.. Internet Services: from Electronic Mail to Real-Time Multimedia. Proc. of KIVS (Kommunikation in Verteilten Systemen) (Klaus Franke, Uwe Hübner, and Winfried Kalfa, eds.), Informatik aktuell, (Chemnitz, Germany), pp. 21-34, Gesellschaft für Informatik, Springer Verlag, Feb. 1995.
- [Schulzrinne, 97]** Schulzrinne, H. et al. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Internet Draft draft-ietf-avt-rtp-02.new-01.ps, 1997.
- [Schulzrinne, 98]** Schulzrinne, H. et al. RTP: Real Time Streaming Protocol (RTSP). Internet Draft, URL: <<ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc2326.txt>>. Abril, 1998.
- [Soares, 95]** Soares, L. F. G. Redes de Computadores, Das LANs, MANs, e WANs às Redes ATM, EMBRATEL/Editora Campus, RJ, 1995.
- [Sun, 97]** Sun Microsystems, Inc. Java Media Framework 1.0 beta. URL: <http://java.sun.com/products/java-media/>.
- [Tanenbaum, 96]** Tanenbaum, Andrew. Computer Networks - 3a. edição - 1996.
- [Trentin, 96]** M. Trentin, L.M.R. Tarouco. Suporte Multimídia para Educação a Distância. I Workshop de Educação à Distância (I WEAD), XIV SBRC, 1996.
- [Topolcic, 90]** Topolcic, C.. Experimental Internet Stream Protocol, Version 2 (ST-II), Request for Comments RFC 1190, Internet Engineering Task Force, Oct. 1990.
- [Whetten, 94]** B. Whetten, T. Montgomery, S. Kaplan. A High Performance Totally Ordered Multicast Protocol. Theory and Practice in Distributed Systems. Springer-Verlag, LNCS 938, 1994.
- [Wittig, 94]** Wittig, H., J. Winckler, J. Sandvoss. Network Layer Scaling: Congestion Control in Multimedia Communication with Heterogeneous Networks and Receivers. Proc. Multimedia Transport and Teleservices, Springer LNCS 882, pp. 274-293, 1994.
- [Xiao, 99]** X. Xiao, L.M. Ni. Internet QoS: A Big Picture. 1999.
- [Yip, 96]** Yip, Michael. "ATM in the MIX", LAN Magazine. 1996.
- [Zeitnet, 96]** Zeitnet/Cabletron. "ATM LAN Emulation in Workgroups Networks", White Paper Zeitnet/Cabletron Outubro de 1996.
- [Zhang, 94]** Zhang, L. et al. ReSource ReserVation Protocol (RSVP) Internet Draft, Março, 1994.

- [Wu, 97] Wu, Liwen. Internet Draft Document: draft-ietf-mpls-diff-ext-01.txt
June, 1999.
- [W3C, 99] W3C Architecture domain: Synchronized Multimedia.
www.w3.org/AudioVideo/Activity.html.